



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Avaliação das alternativas para o suprimento de
eletricidade do Estádio Mané Garrincha no cenário
da Copa do Mundo 2014.**

**Autor: Edilberto Athaide Cavalcante Junior
Orientador: Manuel Nascimento D. Barcelos Junior**

**Brasília, DF
2014**



Edilberto Athaide Cavalcante Junior

**AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA O SUPRIMENTO DE ELETRICIDADE
DO ESTÁDIO MANÉ GARRINCHA NO CENÁRIO DE COPA DO MUNDO 2014.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Manuel Barcelos

Co-Orientador: Dr. Jorge Cormane

**Brasília, DF
2014**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

ATHAIDE, EDILBERTO CAVALCANTE JUNIOR.

Avaliação das alternativas de suprimento de eletricidade do Estádio Mané Garrincha no cenário de Copa do Mundo 2014 / Edilberto Athaide Cavalcante Junior. Brasília: UnB, 2014. 65 p.: il. ; 29,5 cm.

Monografia Graduação – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2014. Orientação: Manuel Barcelos.

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. Comparações. | 2. Confiabilidade. |
| 3. Nível de Segurança. | 4. Critério "N-K". |

Barcelos, Manuel. Dr.

CDU Classificação



**AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA O SUPRIMENTO DE ELETRICIDADE
DO ESTÁDIO MANÉ GARRINCHA NO CENÁRIO DA COPA DO MUNDO 2014.
- FGA**

Edilberto Athaide Cavalcante Junior

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 16/06/2014 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Manuel Barcelos UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr. Jorge Cormane, UnB/ FGA
Co-orientador

Prof.Dr. Flávio Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e pela saúde concedida para realização deste trabalho. À minha família, pelo apoio em todos os momentos de fraqueza durante a trajetória do curso, em especial à minha mãe que batalhou muito para me fornecer insumos para morar e estudar longe de casa. Não me esquecendo das pessoas que já não estão mais presentes e que fizeram parte da minha educação, meu pai e minha avó Iolete.

Aos meus amigos Vagner Augusto, Vitor Magalini, Caio Prado, Janaíne Mônica, Rafael, Pedro Camargo, Pedro Henrique. Foi muito intensa nossa convivência e levarei a amizade de vocês ao longo da minha vida.

À minha namorada Priscylla, meu ponto de segurança e a pessoa que me ajuda com suas palavras nos momentos mais difíceis, te amo.

À minha irmã Karina e à minha madrinha Renata Pavanelli, pelas discussões que me fazem crescer e amadurecer para o decorrer da vida.

E por fim, ao meu orientador Manuel Barcelos, que foi um verdadeiro educador e me ensinou muito além da vida acadêmica.

“Há dois tipos de sabedoria: a inferior e a superior.

A sabedoria inferior é dada pelo quanto uma pessoa sabe e a superior é dada pelo quanto ela tem consciência de que não sabe”. Chico Xavier.

RESUMO

Neste trabalho serão abordadas as adequações feitas ao Estádio Mané Garrincha para a realização dos jogos da Copa do Mundo de 2014, no que tange aos requisitos relacionados aos suprimentos de eletricidade exigidos pela FIFA para que um estádio sedie jogos da Copa do Mundo. Também será estudada a Geração Distribuída Fotovoltaica que se previa ser um dos tipos de suprimentos energéticos. Será avaliada a confiabilidade, de modo determinístico, seguindo ao critério “N-k”, da alimentação do estádio para jogos às 13 horas e também às 17 horas.

Palavras-chave :

Suprimentos energéticos, Alimentações, Geração Distribuída Fotovoltaica, Estádio Mané Garrincha e Copa do mundo 2014.

ABSTRACT

In this paper we will discuss the adjustments made to the Stadium Mané Garrincha for the Games of the World Cup 2014, with respect to those related to the supply of electricity required by FIFA requirements for a stadium games of the World Cup. Will also be studied Distributed Generation Photovoltaic who had expected to be one of the types of energy supplies. Reliability, deterministic way, following the criterion "N-k", the power games at the stadium for 13 hours to 17 hours and also will be valued.

Keywords:

Energy supplies, Power, Distributed Generation Fotovoltaica, Stadium Mané Garrincha and the World Cup in 2014.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO	17
2.2 ENERGIA NOS ESTÁDIOS DE FUTEBOL	19
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	20
2.3.1 Geração Distribuída e Geração Centralizada.....	21
2.3.2 Vantagens e Desvantagens da GD	22
2.4 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA.....	22
2.4.1 Grupos Geradores.....	23
2.4.1.1 Motores Diesel.....	23
2.4.1.2 Geradores Síncronos de Corrente Alternada	25
2.4.2 Fontes de alimentação ininterruptas	27
2.5 CRITÉRIO DE CONFIABILIDADE N-K.....	28
3.METODOLOGIA	31
4.ANÁLISE DE RESULTADOS	33
4.1 RECOMENDAÇÕES E REQUISITOS EXIGIDOS PELA FIFA SOBRE A ALIMENTAÇÃO PARA OS ESTÁDIOS DE FUTEBOL.....	33
4.1.1 Alimentação do Estádio Mané Garrincha.....	37
4.1.2 Grupo Gerador.....	39
4.1.3 Fontes Ininterrupta de Potência ou <i>No-Break</i>	44
4.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA DO ESTÁDIO MANÉ GARRINCHA	45
4.3 CENÁRIOS	51
4.3.1 Jogos às 13:00 horas.....	51
4.3.2 Jogos às 17:00 horas.....	56
5.CONCLUSÕES	58
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICES	63

1. INTRODUÇÃO

No dia 30 de outubro de 2007 a FIFA decretou que a Copa do Mundo FIFA 2014 terá como sede o Brasil, que já havia sediado a copa de 1950. Este tipo de evento solicita do país sede uma série de investimentos na infraestrutura dos estádios e das cidades sede, e também no setor energético. Os principais setores que sofrerão aumento do consumo de energia elétrica são os bares, restaurantes, hotéis e as *fan fest*s além de, evidentemente, o do próprio estádio, segundo Sérgio Bajay, ex-diretor do Departamento Nacional de Políticas Energéticas.

O aumento da demanda de energia elétrica na cidade é fruto da chegada de turistas e da maior utilização das infraestruturas. O Ministério do Turismo realizou uma pesquisa para estimar a quantidade de turistas estrangeiros e nacionais que circularão pelo Brasil durante o evento e concluiu que por volta de 600 mil estrangeiros e três milhões de turistas nacionais circularão as cidades brasileiras.

Antecedente à realização do evento, os estádios que foram construídos tornaram-se pauta principal de diversas discussões, dentre elas destaca-se o perfil de consumo energético. O estádio é o palco onde ocorrerão os jogos, por isso necessariamente a oferta de energia deverá suprir a demanda do local, ou seja, por ser um dos locais mais importantes do evento e não pode haver falhas no abastecimento. Segundo a FIFA, o estádio deve possuir uma fonte de alimentação alternativa que seja capaz de alimentar o estádio por três horas em caso de falta de energia elétrica. Não obstante, deve haver dupla alimentação independente, segundo a FIFA.

Com relação à situação de aumento da demanda de energia elétrica para Copa do Mundo destaca-se a Copa de 2010 ocorrida na África do Sul. Dentro do âmbito energético o país teve que propor várias soluções que contornassem o problema de abastecimento energético durante o evento. Durante o Mundial, o consumo de energia triplicaria e para evitar um apagão, a companhia de energia da África do Sul criou um intenso racionamento e pediu para que cada casa só tivesse um televisor ligado e uma lâmpada acesa (REVISTA SUSTENTABILIDADE, 2010). Porém, só essa medida não resolveria o problema, o governo investiu cerca de 711 milhões de reais para importar energia elétrica de outros países próximos. E, além disso, foi criado um consórcio entre empresas para a montagem de usinas

temporárias que funcionaram durante a copa do mundo de futebol fornecendo energia para 10 estádios (AGGREKO, 2010). Essas usinas foram responsáveis pelo fornecimento de 56 MW de energia. Essa solução foi muito eficiente, uma vez que todo o processo foi considerado um grande sucesso durante o período em que ocorreu o evento (AGGREKO, 2010). Nesse processo foram usados 253 geradores, 525 quilômetros de cabos instalados e uma equipe de 360 funcionários, sendo 320 cidadãos sul-africanos (AGRONOTICIAS, 2010).

Além do aumento da demanda, existem diversas ameaças e vulnerabilidades que podem estragar o evento, mesmo cumprida a exigência da FIFA de dupla alimentação do estádio. Por exemplo, ocorreu um acidente na linha de transmissão na data 28/08/2013, no Sistema Nordeste. Segundo uma nota dada a imprensa pela ONS no dia 02/09/2013, a causa da perturbação foram queimadas que geraram curtos circuitos em duas linhas de transmissão de 500 KV entre as subestações Ribeiro Gonçalves e São João do Piauí. Essas conclusões foram obtidas através de inspeções no local realizadas pelo Ministério de Minas e Energia e estudos oscilográficos. Após duas horas do registro da ocorrência 50% da carga da região Nordeste havia sido retomada, contudo após três horas e meia foi estabelecida a carga total da região.

A resposta do sistema elétrico tradicional ao aumento da demanda é aumentar a capacidade de geração, e neste caso, se a demanda ultrapassar os limites da capacidade do sistema, a solução tradicional é a construção de novas unidades de geração de grande porte. E para transportar essa maior quantidade de energia comercializada é necessário à expansão das linhas de transmissão e distribuição.

Algumas alternativas já foram tomadas como a tripla alimentação independente do estádio, porém podem ser trabalhados outros tipos de soluções, como a implementação da Geração Distribuída Fotovoltaica, para serem utilizadas a fim de reduzir ainda mais o risco de falhas. Com base nisto, o trabalho pretende realizar um estudo das soluções convencionais e alternativas de abastecimento energético do Estádio Mané Garrincha por meio de comparações entre as exigências da FIFA e o que foi implementado, e também propor alguns cenários relevantes para os jogos da Copa do Mundo de Futebol 2014 e avaliar a confiabilidade seguindo um critério determinístico denominado “critério N-k”.

O setor elétrico brasileiro é dividido em geração, transmissão e distribuição. Onde a geração é caracterizada por ser distante dos grandes centros consumidores e interligada através de linhas de transmissão. Por ser longe essa transmissão de energia elétrica, maior é a perda nas linhas. Ou seja, o fluxo de energia elétrica acontece do local de geração para as distribuidoras através das linhas de transmissão, e por meio das linhas de distribuição desembarcam nas residências, caracterizando um fluxo unidirecional. Por fim, nota-se que a geração é isolada dos centros de carga, necessitando de linhas de transmissão de grande comprimento, esse tipo de geração recebe o nome de geração centralizada (GC).

A geração de energia elétrica no Brasil é predominantemente de fontes hídricas e esse recurso ainda é abundante. Porém, a construção de usinas hidroelétricas está se tornando cada vez mais difícil devido a restrições de regulações com função de proteger o meio ambiente. Assim, grandes reservatórios com grande capacidade de regularização deixam de ser uma boa opção para a geração, dessa maneira quebra um dos paradigmas da política energética do país.

Com isso a participação de energias renováveis, ou formas alternativas de energia que estão próximos aos centros de carga e por muitas vezes conectadas a rede começam a fazer parte da matriz energética brasileira. Esse tipo de geração, caracterizada por pequenos geradores localizados próximos às cargas (instaladas nas próprias unidades consumidoras e, em alguns casos, conectados a rede) recebe o nome de geração distribuída (GD).

Dessa maneira surgem alguns problemas cuja solução é um desafio, como planejamento eficaz para promover o crescimento da matriz energética em outras fontes geradoras, tanto do ponto de vista econômico quanto do socioambiental. Na mesma esteira, utilizar corretamente a conversão de energia e o despacho, já que a geração será de uma fonte diferente da hídrica.

Dentre as fontes renováveis alternativas, encontram-se os painéis fotovoltaicos que convertem energia luminosa em elétrica. No Estádio Mané Garrincha, estão previstos para instalação de painéis solares com capacidade para abastecer energeticamente o estádio durante os jogos e parte da energia elétrica será colocada na rede, a fim de abastecer um determinado local que sofrerá aumento de demanda devido ao evento. Na tentativa de trabalhar soluções caso o jogo ocorra fora do horário de funcionamento das placas solares, será proposto um cenário no qual serão avaliadas as fontes de energia elétrica disponíveis.

Confiabilidade e segurança são quesitos preponderantes na escolha de qualquer sistema de alimentação, já que os prejuízos na falha do abastecimento elétrico do Estádio Mané Garrincha não são apenas financeiros.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral realizar um estudo do suprimento de energia elétrica do Estádio Mané Garrincha no cenário de Copa do Mundo 2014.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Comparar os requisitos e recomendações técnicas propostas pela FIFA para a alimentação dos estádios de futebol com o que foi realizado para o Estádio Mané Garrincha sediar sete jogos da Copa do Mundo de 2014;
- Realizar uma avaliação da energia solar produzida pelas placas fotovoltaicas cuja instalação está prevista na cobertura do Estádio Mané Garrincha;
- Além de realizar a comparação, serão propostos dois cenários referentes aos dois horários diferentes de realização dos jogos para realizar a avaliação da confiabilidade da confiabilidade seguindo o “critério N-k”.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estádio Mané Garrincha sediará sete jogos da Copa do Mundo de 2014, e como já foi dito, será um dos locais de maior demanda de energia elétrica durante a realização da partida. Enquanto a demanda da carga do Sistema Interligado Nacional (SIN) permanece baixa durante a partida, a do estádio aumenta e atinge seu patamar máximo.

O Gráfico (1.1) abaixo, evidencia o que foi dito no parágrafo anterior. Pouco antes do jogo Brasil e Costa do Marfim começar, a demanda energética do Sistema Interligado Nacional (SIN) sofre um decréscimo a maioria das pessoas estarem assistindo o jogo pela televisão, ou seja, um grande número de pessoas utilizando apenas um aparelho de televisão que possui o consumo relativamente baixo se comparado a outros. Durante o intervalo da partida, as pessoas exercem qualquer outra atividade que implique consumo de energia, e nota-se que há um acréscimo da demanda que logo acaba com o início do segundo tempo. Logo após o término da partida nota-se uma elevação do consumo em grande proporção, em menos de

uma hora o sistema requer aproximadamente 20 GW, que é um número considerado elevado.

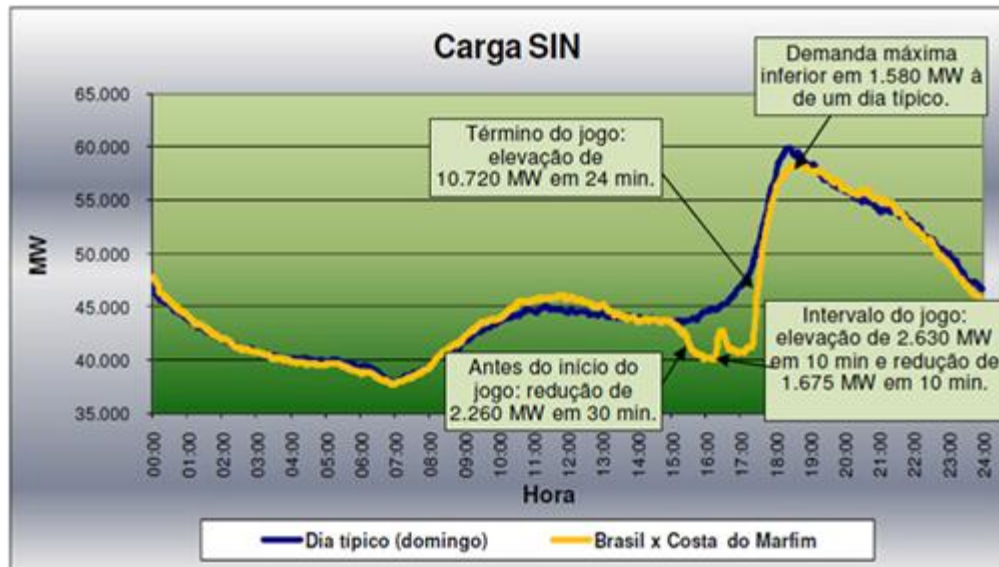


Gráfico 1.1- Curva de carga do SIN no jogo Brasil x Costa do Marfim (SANTOS, 2008).

Já no estádio o perfil de consumo é exatamente oposto, ocorre o pico de demanda energética durante a realização do evento. Pode ser visto no Gráfico (1.2) que o consumo de energia pelo estádio Maracanã em um dia de jogo. Observa-se que pouco antes do jogo começar a curva de carga eleva-se em virtude da preparação do local para a chegada dos torcedores e profissionais que trabalharão no evento. Durante a realização da partida é onde ocorre o pico de demanda energética e logo depois da partida o consumo decresce, mas ainda continua alto em virtude da saída dos torcedores e de alguns profissionais que trabalham após a partida, ainda no estádio.

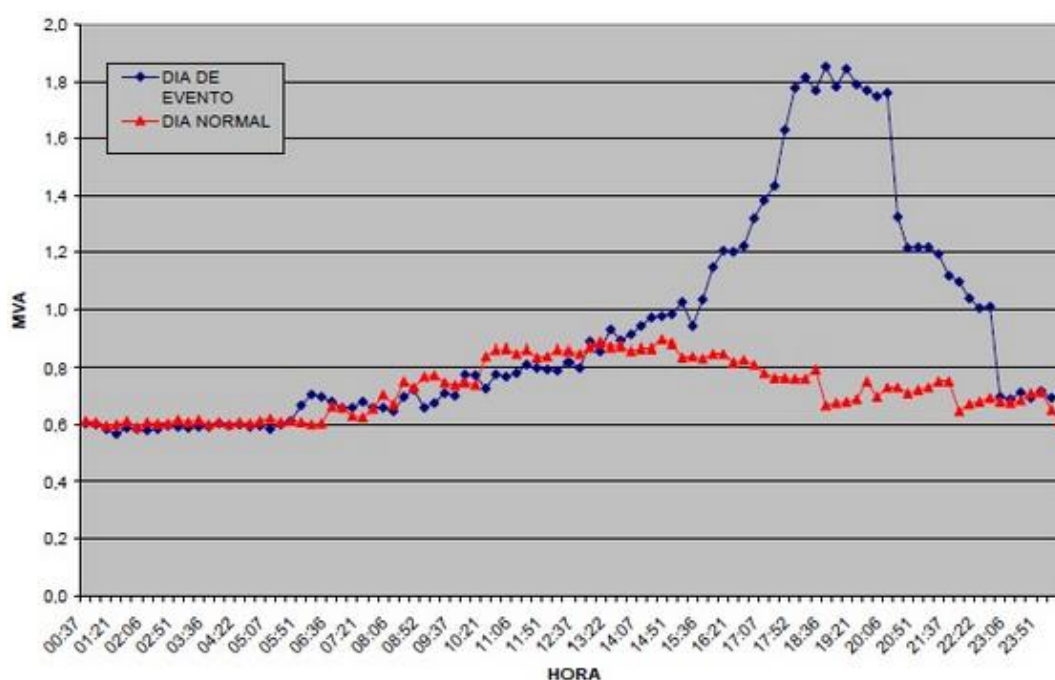


Gráfico 1.2 – Curva típica do Maracanã para dias de evento e dias normais (SANTOS, 2008, p.69).

Com base nisto, justifica-se o fato de realizar um estudo das fontes de alimentação e avaliar a confiabilidade os sistemas de alimentação do estádio nos cenários de jogos às 13 horas e dos jogos que ocorrerão às 17 horas. Além do problema da sobrecarga das linhas de transmissão dos estádios, diversas vulnerabilidades e ameaças de equipamentos que pode colocar em risco a segurança do evento.

O trabalho está dividido basicamente em cinco capítulos, no qual o primeiro capítulo trata do tema e problemática abordada, bem como dos objetivos. No segundo capítulo é realizada uma abordagem teórica dos temas abordados, tratando do contexto energético brasileiro, geração distribuída fotovoltaica, sistema de emergência e critério de confiabilidade “N-K”. No terceiro capítulo é exposta a metodologia do trabalho que inclui a coleta de dados e a forma com que o trabalho se desdobra. No capítulo quatro é realizada a análise dos resultados, que nada mais é que aplicar a metodologia na problemática ou tema abordado no primeiro capítulo. Por fim, no capítulo cinco são realizadas as conclusões acerca dos resultados obtidos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO

O Balanço Energético Nacional também chamado de BEN, que é um dos mais tradicionais documentos do setor energético brasileiro e é elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Ele contabiliza a oferta e o consumo de energia elétrica no Brasil do ano anterior. Este documento é de grande importância para as atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético nacional, além de citar as capacidades instaladas e alguns dados estaduais.

O BEN 2013 apresenta algumas análises energéticas e dados agregados, e sobre a energia elétrica pode-se destacar que a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiram 552,5 TWh em 2012 que representa um aumento de 3,9% em relação ao ano anterior. As centrais de serviço público representam 85,9% da geração total, sendo a principal fonte a hidráulica. Também vale ressaltar que a energia importada líquida foi equivalente a 40,3 TWh, que somada a geração interna fornece uma oferta de energia elétrica de 592,8 TWh, que representa 4,4% de aumento com relação ao ano de 2011.

O Brasil segue a tendência mundial de aumento da demanda por energia elétrica, como resultado do crescimento populacional e desenvolvimento tecnológico e econômico das nações. A mecanização de algumas atividades realizadas de modo artesanal, também implicou o aumento da demanda por energia elétrica. Com muita frequência para suprir tal aumento é necessário realizar investimentos no setor de geração.

No Brasil, em torno de 70% da geração de energia é hídrica, apesar de ser considerada uma fonte renovável, ela gera alguns impactos ambientais como: interferência da qualidade de água, alagamento de áreas e consequente perda da biodiversidade, dentre outros. A oferta de energia interna por fonte pode ser vista pelo Gráf. (2.1).

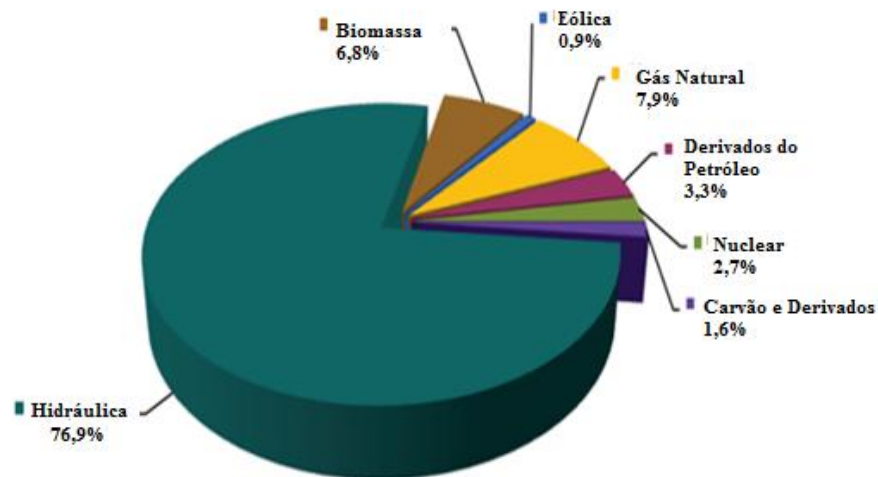


Gráfico 2.1 - Oferta de energia interna do Brasil (BEM, 2013).

O sistema de geração é limitado, principalmente, pelos impactos ambientais, sociais e algumas controvérsias tecnológicas, por este motivo não se pode aumentar a capacidade de geração sem realizar o estudo prévio. Existem várias fontes para a geração de energia elétrica em nosso planeta, dentre elas fontes renováveis que são consideradas fontes limpas, que não poluem o meio ambiente. Segundo o Balanço Energético Nacional 2013 (BEN 2013), 85% da geração do Brasil é de fonte renovável enquanto no mundo a média é de 13% (Fig. 2.1).

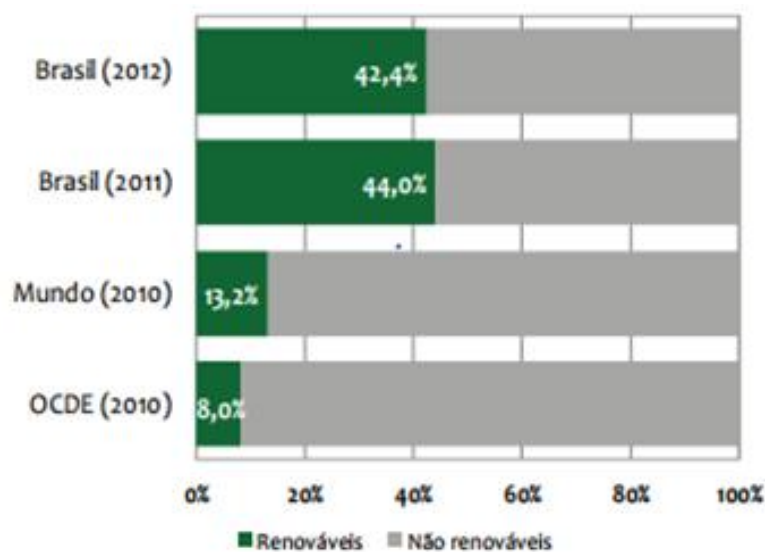


Figura 2.1- Utilização de recursos renováveis (BEM, 2013).

O Brasil apesar de possuir sua geração predominantemente hidroelétrica prioriza seus investimentos em outras vertentes sustentáveis. Através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o país estimula a expansão de fontes renováveis alternativas, e o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) financia empreendimentos nessa área.

2.2 ENERGIA NOS ESTÁDIOS DE FUTEBOL

O Brasil está em segundo lugar, perdendo apenas para China, no crescimento do setor da indústria de entretenimento e mídia (BBC, 2010). Dentro deste setor estão os estádios de futebol que deixaram de ser, apenas, espaço de reunião de torcedores para apoiar o seu time e passaram a ser centros de várias atividades relacionadas ao futebol como o show de abertura de eventos esportivos, copas e olimpíadas, ou shows musicais.

O Cadastro Nacional de Estádios de Futebol (CNEF, 2009) revela que o Brasil possui 634 estádios de futebol, sendo que a maioria possui iluminação permitindo que os jogos possam ser realizados à noite, como pode ser visto do Gráf.(2.2).

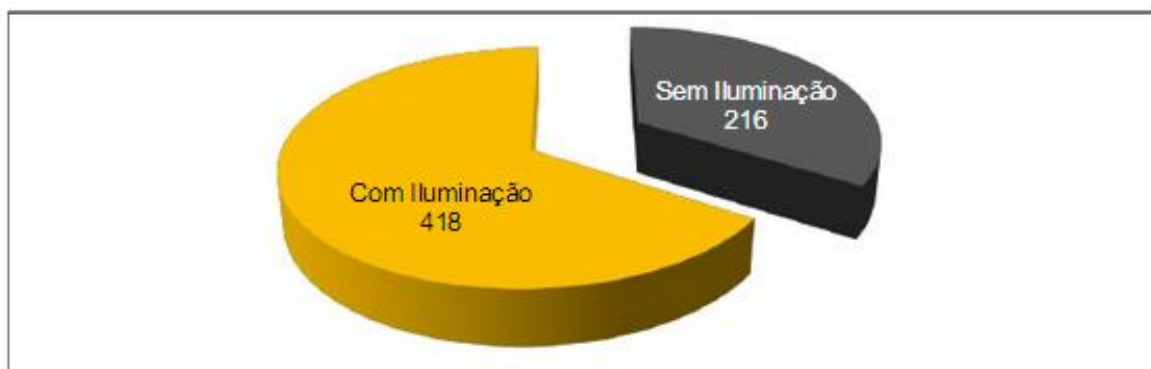


Gráfico 2.2 - Divisão dos estádios com iluminação e sem iluminação no Brasil (CNEF, 2009).

Dentre 634 estádios apenas 12 estádios em doze cidades sedes diferentes realizarão os jogos da Copa do Mundo de 2014. Dentre os estádios que sediarão jogos destaca-se o Estádio Mané Garrincha que possui capacidade para cerca de 70 mil pessoas.

Com o cenário de Copa do Mundo, evidencia-se a necessidade de propor soluções energéticas em caso de um cenário de falta de energia. A FIFA propõe alguns requisitos em relação à instalação elétrica dos estádios, dentre eles a dupla

alimentação independente. Alguns estádios do mundo já possuem soluções para que haja o consumo mais eficiente, que significa em um menor consumo obter o mesmo produto final, seja através de novas tecnologias ou através da melhor gestão de recursos disponíveis. Com um consumo mais eficiente é uma forma de evitar falhas energéticas, bem como solucionar problemas em um cenário de *blackout*. O estádio de *Wembley*, em Londres, utiliza um software de gestão energética desde sua reinauguração em 2007, e a cada ano sua economia energética cresce chegando a 28,5% em 2011 (*Going Green*, 2011). Outros estádios também possuem sistema de gerenciamento energético, como automação do ar-condicionado, dentre eles destacam-se: *National Indoor Stadium*, em Pequim, o *Comellà-El Prat*, na Espanha, e o Luz de Benfica, em Portugal.

Em todo mundo, os novos estádios tem utilizado formas alternativas de geração de energia, agregando grande valor ao empreendimento. Um dos modos de geração é o solar fotovoltaico, que será construído no Estádio Mané Garrincha no segundo semestre de 2013. Dentre os estádios que fazem o uso desta tecnologia, o maior exemplo é o *Stade de Suísse*, em Berna, capital da Suíça. São 12 mil m² de painéis solares que geram 1,13 GWh de energia por ano (*Stade de Suísse*). Outro exemplo é o *Nuremberg Soccer Stadium*, na Alemanha, com potência instalada de 140 KW (SANTOS, 2008). No Brasil esta ideia já é realidade no Estádio Governador Roberto Santos, conhecido por Pítuaçu, em Salvador, que foi o primeiro estádio da América Latina a gerar energia através do sistema fotovoltaico (Neoenergia, 2012). Neste estádio o investimento foi por volta de 5,5 milhões de reais, os painéis ocupam 5500 m² e tem geração anual de 630 MWh (Cogem, 2012).

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O termo Geração Distribuída apresenta diversas definições por diferentes autores, as diferenças estão quanto a tecnologia elegível para a GD, bem como o nível de tensão para a interconexão com a rede elétrica convencional. Contudo, as definições de GD convergem quanto um recurso flexível de energia que não apresenta complexidade de operação como os sistemas de geração convencional e são instalados na rede de baixa tensão no sistema de distribuição local, com isso facilita a participação de consumidores residenciais e comerciais (Paiva, et al, 2009).

Uma aplicação do conceito de GD já pode ser percebida no Estádio Mané Garrincha, já que estão previstas instalações de módulos solares com capacidade nominal por volta de 2,54 MW. Esta potência é capaz de alimentar 1,4 mil residências nas proximidades do estádio. Parte desta potência será utilizada para alimentar o próprio estádio e o restante será distribuído entre as residências (COPA, 2013).

2.3.1 Geração Distribuída e Geração Centralizada

Um sistema elétrico caracterizado por ser GC é dado por um sistema de geração localizado próximo a suas fontes primárias, podendo ser rios no caso de hidroelétricas ou jazidas de petróleo ou carvão no caso de termoelétricas, e geralmente distante dos grandes centros consumidores. Esse tipo de disposição da geração possui uma grande dependência das fontes primárias.

No cenário mundial, a maior parte da energia gerada é através de termoelétricas que depende de recursos fósseis. Contudo, com a preocupação com a sustentabilidade do planeta, a utilização desse tipo de recurso gera grandes impactos ambientais o que causa contraposição ao conceito de desenvolvimento sustentável. Já no cenário brasileiro, a principal fonte geradora é a hidroelétrica cujo recurso é a água. Apesar de ser considerada um tipo de energia renovável, a construção de hidroelétricas causou sérios danos socioambientais e estão sob marco regulatório severo.

Por fim, este modelo de GC por recursos hídricos e fósseis passa a ser substituído por GD baseado em recursos renováveis, isso devido a suas características econômicas e técnicas favorecerem a implementação nas redes elétricas na forma de GD (SHAYANI, 2010).

Além da sustentabilidade, o quesito eficiência energética também ganha espaço já que as usinas localizadas distantes dos grandes centros de carga, na GC, necessitam de linhas de transmissão e distribuição extensas para que a energia elétrica alcance o consumidor. Com isto, ocorre grandes perdas durante este percurso. Na GD as perdas são reduzidas, pois a geração está localizada próxima aos locais de consumo, percorrendo pequenos trechos na distribuição.

Dentre as fontes de geração utilizadas na GD, é mais interessante que se escolha fontes que possuem grande disponibilidade de recursos naturais. Nesse sentido destacam-se duas, a eólica e a solar. A irradiação solar e os recursos

eólicos estão em todo planeta, em menor ou maior intensidade, permitindo que a geração de energia não seja restrita apenas para aqueles que possuam jazidas de petróleo ou carvão (Lopes, 2011).

2.3.2 Vantagens e Desvantagens da GD

As principais vantagens são (Paiva, et al, 2009):

- Redução das perdas devido a redução das linhas de transmissão e distribuição;
- Flexibilidade de implementação em curto espaço de tempo;
- Operação em horários de ponta (diminui as variações do preço da energia);
- Reduz a sobrecarga nas linhas de alimentação proporcionando maior flexibilidade operativa e melhor perfil de tensão;
- Atende as demandas particulares com soluções específicas;
- Benefícios ambientais em virtude do uso de recursos renováveis ou resíduos não nocivos ao ambiente e aumento da confiabilidade do sistema;
- Aumento da confiabilidade do sistema, por ter uma alternativa à disposição;
- Proporciona a aplicação de diferentes modelos de gerenciamento da demanda.

As principais desvantagens são (Paiva, et al, 2009):

- Aparecimento de fluxos contrários aos convencionais;
- Aumento do nível de curto circuito e variações de potência ativa;
- Elevado custo de tecnologias empregadas;
- Maior complexidade de operação do sistema elétrico;
- Problemas referentes a qualidade de energia:
- Dependência da variação de fenômenos naturais, como nível de irradiação solar;
- Desequilíbrios entre fases quando se conecta uma GD monofásica em uma rede trifásica equilibrada.

2.4 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA

Os sistemas de emergência devem conter elementos que garantam a alimentação da carga selecionada em projetos para funcionar ininterruptamente.

Esses elementos são grupos geradores, em sua maioria um motor Diesel acoplado a um gerador síncrono, juntamente com as chaves de transferência e as fontes ininterruptas de potência.

2.4.1 Grupos Geradores

Grupo gerador é o conjunto de motor de combustão e gerador de corrente alternada, destinado ao suprimento de energia elétrica mediante a energia dos combustíveis, que geralmente é o óleo Diesel. Para o dimensionamento do grupo gerador, deve-se considerar qual o tipo de carga que será alimentada, quais as condições e características do local (temperatura, altitude e nível de contaminação do ar por partículas sólidas), qual o regime de operação do grupo gerador e quais os níveis de ruído acústico. Este trabalho enfoca o grupo gerador a Diesel que são os mais usados para grandes eventos como jogo de Copa do Mundo, shows, dentre outros.

2.4.1.1 Motores Diesel

O objetivo deste tópico não é descrever todos os equipamentos do motor Diesel, mas sim explicar como é o princípio de funcionamento.

Os motores Diesel são máquinas térmicas de combustão interna, transformando a energia proveniente do óleo Diesel, ou seja, energia química, em energia mecânica.

O princípio básico de funcionamento consiste em um ciclo no qual ele aspira o ar, por diferença de pressão, que é comprimido no interior do cilindro. Após ser comprimido, esse ar recebe o combustível a uma pressão superior a que o ar se encontra, e ocorre a combustão quando o combustível entra em contato com o ar aquecido. Essa combustão ocorre, pois o combustível alcançou a sua temperatura de autoignição. O ciclo de trabalho tem duração de quatro tempos. No 1º tempo o pistão realiza um movimento descendente no qual provoca a admissão de ar pela diminuição da pressão dentro do cilindro. No 2º tempo o pistão sobe e acontece a compressão, antes de completar o curso ocorre a autoignição. No 3º tempo o pistão desce por conta da expansão dos gases da combustão. No 4º tempo, os gases de escape são expelidos do cilindro pelo movimento de subida do pistão (SANTOS, 2006). Essas etapas estão apresentadas abaixo na Fig. (2.2).

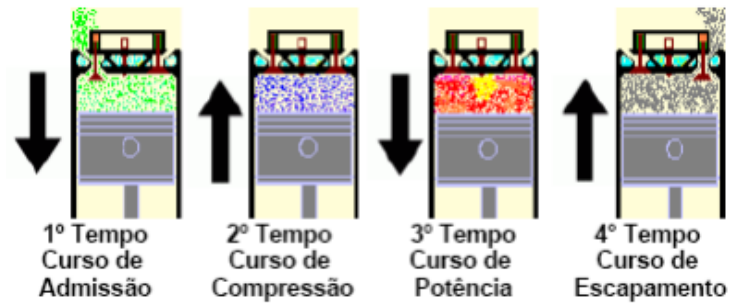


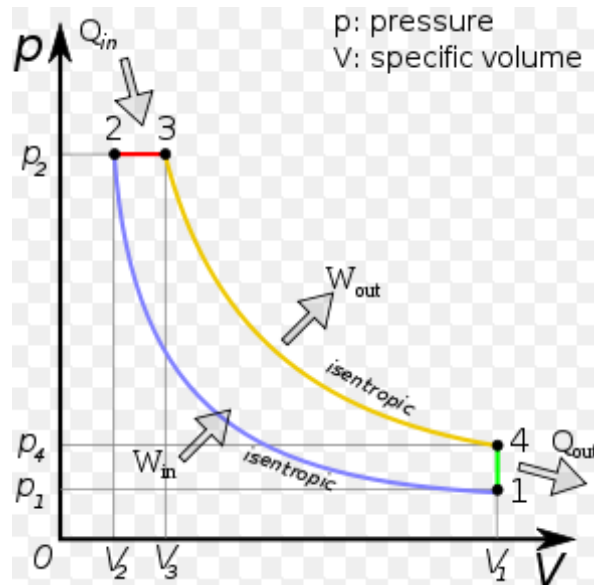
Figura 2.2- Etapas de trabalho do motor Diesel (SANTOS, 2006).

Do ponto de vista termodinâmico esses quatro tempos podem ser divididos em alguns processos, no qual a combustão é expressa como uma entrada de calor e a exaustão dos gases como uma saída de calor. E lembrando que um processo isoentrópico é muito mais do que um processo que apenas não varia a entropia, ele é caracterizado por ser internamente reversível e adiabático.

Os processos podem ser divididos em:

- 1-2: Compressão isoentrópica;
- 2-3: Entrada de calor a pressão constante;
- 3-4 Expansão isoentrópica;
- 4-1: Perda de calor a volume constante.

A Figura (2.3) ilustra como é o diagrama P-v do ciclo diesel e os processos citados acima caracterizam essa curva.



Fonte: <http://gl.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Diesel>. Acesso em Novembro de 2013.

Figura 2.3- Diagrama P-v do ciclo Diesel.

2.4.1.2 Geradores Síncronos de Corrente Alternada

Se há um movimento entre um condutor e um campo magnético surge uma tensão induzida, segundo a teoria de máquinas rotativas escrita por Michael Faraday em 1831. Esse princípio é utilizado por todos geradores elétricos, inclusive o gerador síncrono. Geradores síncronos são máquinas cuja frequência da força eletromotriz é diretamente proporcional à velocidade de rotação e o número de polos magnéticos (MAMEDE, 2002).

Na máquina síncrona, o enrolamento de campo é alimentado por uma fonte CC e armadura é ligada diretamente a carga. A máquina primária, o motor Diesel, gira o rotor na velocidade síncrona desenvolvendo sua função de gerador, ou seja, surge uma tensão na saída trifásica alternada nos terminais da armadura. Para manter a tensão de saída constante deve-se regular a tensão CC do circuito de campo, para isso existe um circuito regulador de tensão para compensar as variações de carga. Esse circuito colhe a tensão de saída do gerador, compara com um sinal de referência e comanda a excitação.

A excitação pode ser de duas maneiras, a autoexcitação ou a excitação independente. Na autoexcitação, existe um retificador que utiliza a tensão alternada fornecida pelo gerador para alimentar em corrente contínua o circuito de campo. A condução de corrente se faz por meio de dois anéis com escovas, montados no eixo

do gerador. Uma desvantagem desse sistema são os harmônicos gerados na rede, que pode prejudicar o funcionamento de alguns equipamentos (MAMEDE, 2002). O sistema de autoexcitação do gerador pode ser visto na Figura (2.4).

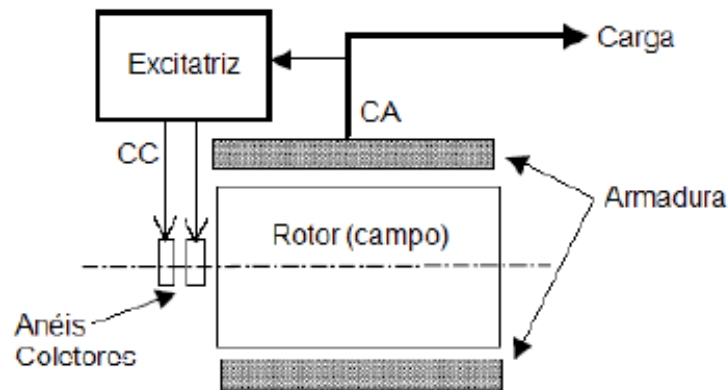


Figura 2.4- Sistema de autoexcitação (MAMEDE, 2002).

O sistema de excitação independente é montado no próprio eixo do gerador, esse sistema é constituído por um gerador de corrente contínua alimentado por um regulador externo. Atualmente é usado um pequeno gerador de corrente alternada de pólos fixos onde a corrente induzida gerada é retificada sendo transformada para contínua diretamente do circuito de campo, sem utilizar escovar para isso (MAMEDE, 2002). É um tipo de excitação sem escovas, ilustrado pela Figura (2.5).

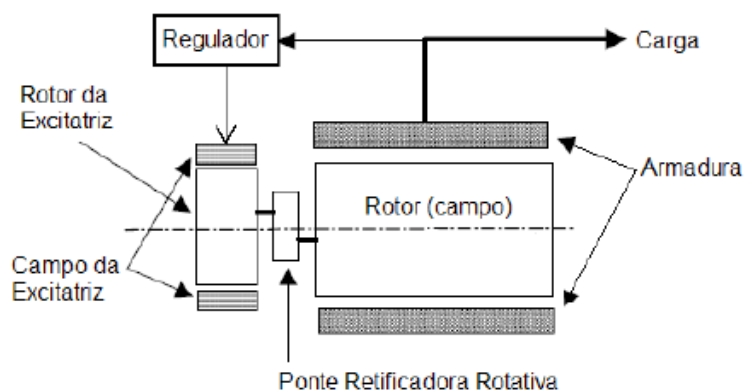


Figura 2.5- Sistema de excitação independente (MAMEDE, 2002).

No momento em que há a falha do abastecimento de energia elétrica do estádio, sabe-se que para o grupo gerador entrar em funcionamento leva certo tempo. Esse tempo varia de acordo com os setores a serem atendidos pelo estádio e são determinados pela FIFA, geralmente de 60 a 90 segundos. Durante esse período, entra em funcionamento um elemento exigido pela FIFA que é a UPS (*Uninterruptible Power Supply*).

2.4.2 Fontes de alimentação ininterruptas

A Fonte de alimentação ininterrupta é um equipamento instalado em linha com a carga em que se deseja alimentar ininterruptamente. É geralmente conhecida por *No-Break* ou UPS, na ocasião de falta de energia elétrica a UPS supre a carga durante certo tempo. O esquema de uma UPS está mostrado na Figura (2.6).

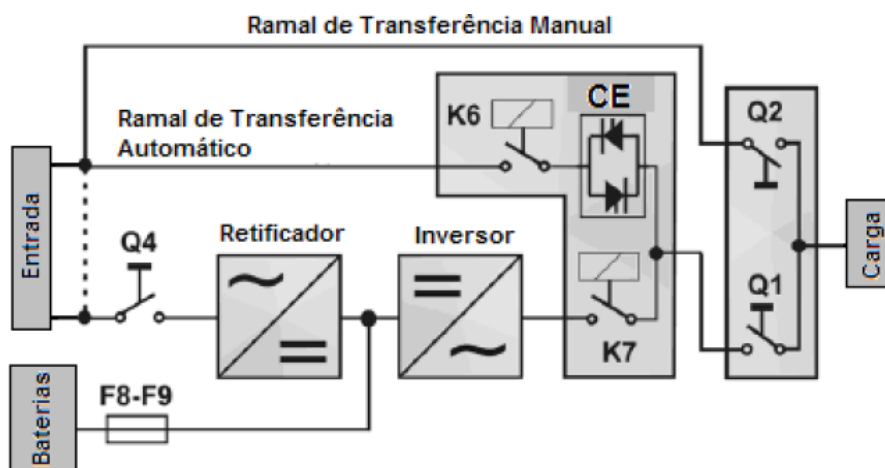


Figura 2.6 - Diagrama de blocos de uma UPS (SANTOS, 2006).

Os principais elementos de uma Fonte Ininterrupta de Potência são: Retificador, Inversor de Frequência, Sistema de Controle, Ramal de Transferência Automático, Ramal de Transferência Manual, Proteção Contra Alimentação Reversa e Banco de Baterias.

O Retificador é onde a tensão alternada trifásica de entrada é convertida em tensão contínua regulada. Essa tensão regulada é utilizada para suprir o inversor e também promover a carga para o banco de baterias.

O Inversor de Frequência converte a tensão contínua em tensão alternada trifásica com valor RMS e frequência constante. O inversor é isolado e independente da tensão CA de entrada.

O Sistema de Controle da UPS é feito através de uma unidade microprocessada. A interface entre o operador e essa interface é através de um painel de monitoramento.

O Ramal de Transferência Automático é constituído por cabos elétricos e uma chave estática. Por ser rápida, a chave estática é utilizada para fazer uma transferência ininterrupta de carga do inversor para a alimentação principal. Isso acontece quando o sistema de controle detecta uma falha do inversor, uma condição de sobrecarga ou um curto-circuito. Quando a falha é corrigida, a carga é automaticamente transferida de volta para o inversor.

O Ramal de Transferência Manual, chaves Q1 e Q2 possibilitam que a carga da UPS seja transferida para a fonte principal, proporcionando a manutenção do equipamento.

A Proteção contra Alimentação Reversa, os contadores K6 e K7 são abertos automaticamente em caso de defeitos internos do sistema ou erros durante o procedimento de manutenção.

Banco de Baterias é utilizado quando ocorre falha de alimentação do local, no caso o estádio. Como a carga do estádio é alta necessitaria de um banco de baterias muito grande para abastecer o estádio por muito tempo. Por isso é utilizada apenas para abastecer durante curtos períodos para o acionamento do grupo gerador. O carregador de baterias é projetado para ter um nível de ondulação baixo, isso eleva a vida útil das baterias.

2.5 CRITÉRIO DE CONFIABILIDADE N-K

Um dos grandes desafios para os profissionais envolvidos com um sistema elétrico de potência é encontrar um ponto ótimo de suprimento entre menor custo e maior confiabilidade possível. A probabilidade de um sistema atender a seus consumidores com maior confiabilidade está diretamente relacionada aos investimentos aplicados durante as fases de planejamento da expansão e de operação do sistema elétrico de potência (Tolmasquim, 2010).

Deve-se ficar esclarecido que o tipo de associação dos componentes, para fins de confiabilidade, resulta das condições de trabalho impostas aos mesmos. Ou seja, se duas linhas de transmissão ou distribuição estão em paralelo, a falha de uma não implica na falha de outra (Fig. 2.7) (CAMARGO, 2006).

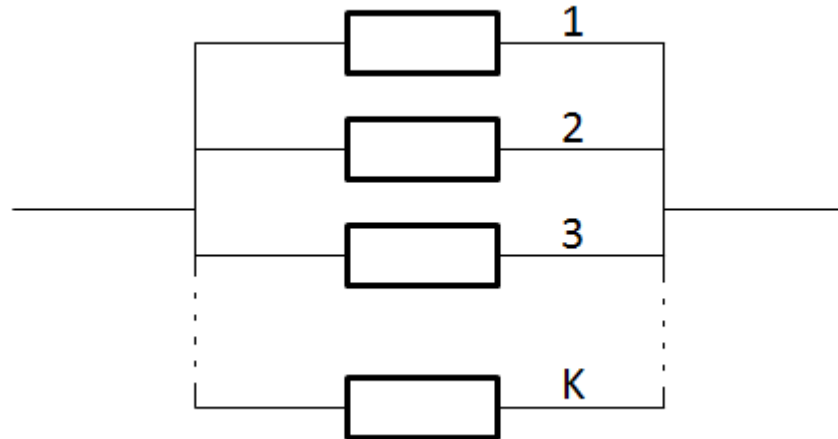


Figura 2.7- Alimentações em paralelo (CAMARGO, 2006).

Se estiverem em série, a falha de um componente acarreta a falha de outro (Fig. 2.8) (CAMARGO). Se um dos componentes falhar implica que a alimentação será completamente prejudicada, e por este motivo é um tipo de associação que não é muito utilizada e nem recomendada já que o grau de confiabilidade desta associação é baixo.



Figura 2.8- Associação em Série (CAMARGO).

O critério tradicional, denominado genericamente de “N-K”, é uma das estratégias utilizadas no planejamento da expansão e operação do sistema elétrico mais difundidas e tradicionais no Brasil e em alguns países (Tolmasquim, 2010). O parâmetro K é o número de alimentações que consegue suprir 100% da carga. Esse critério tem um caráter essencialmente determinístico, ou seja, não explora as incertezas intrínsecas aos sistemas reais (ONS, 2005).

Um sistema com K linhas de transmissão ou distribuição redundantes ou em paralelo pode ser classificado como $N-K$, se cada alimentação for capaz de abastecer 100% da carga. Se uma das linhas não for capaz de suprir 100% da carga, o sistema é classificado como $N-(K-1)$ e assim por diante (CAMARGO, 2006). No SIN (Sistema Interligado Nacional) dificilmente o valor de K ultrapassa 1 devido as expansões radiais. Já na distribuição podemos ter K variando em valores maiores do que um (ONS, 2005).

De forma geral, o conceito de confiabilidade está relacionado com a existência de redundâncias e caminhos alternativos para que um sistema se mantenha em funcionamento, ainda que alguns de seus componentes estejam avariados (CAMARGO, 2006).

3.METODOLOGIA

O presente trabalho possui três objetivos específicos bem definidos, o primeiro é a comparação entre o que foi implementado no Estádio Mané Garrincha em seu sistema de potência elétrica e o que a FIFA exige para que os estádios sediarem jogos da Copa do Mundo. O segundo é realizar uma avaliação da energia solar produzida pelas placas fotovoltaicas previstas para serem instaladas na cobertura do estádio. Já o terceiro, consiste em avaliar a confiabilidade, utilizando um critério determinístico denominado N-K, em dois cenários diferentes referentes aos dois horários de realização dos jogos no Mané Garrincha.

A comparação tem por objetivo avaliar se a infraestrutura elétrica do estádio Mané Garrincha atende aos padrões da FIFA e conseqüentemente suporta a realização dos jogos da Copa do Mundo de 2014, sem risco de interrupções da partida devido a falhas de abastecimento. O primeiro passo é realizar uma análise dos requisitos técnicos, presentes em um manual publicado em 2011, exigidos pela FIFA quanto à alimentação e a classificação das cargas dos estádios.

Após essa análise, busca-se informações quantitativas e qualitativas quanto aos serviços de energia (alimentações) que serão utilizados no Estádio Mané Garrincha por meio da CEB, que é a empresa responsável por este tipo de serviço em Brasília. Essas informações quantitativas são com base se o número de serviços de energia, ou alimentações, atende aos exigidos pela FIFA, e qualitativas é se cada serviço de energia consegue suprir 100% da carga do estádio. Com isso surge a dúvida acerca da carga do Estádio Mané Garrincha e do comportamento de consumo de energia durante a realização do evento.

A CEB disponibilizou os dados de tensão, corrente e potência do Estádio Mané Garrincha para diversos eventos que ocorreram em 2013, assim pode-se traçar a curva de carga para cada evento. Contudo, o que mais se assemelha com o comportamento do estádio é a abertura da Copa das Confederações de 2013 em que ocorreu o jogo Brasil e Japão. Desta maneira, utilizam-se os dados deste evento para realizar uma aproximação segura para jogos da Copa do Mundo 2014.

Uma das exigências da FIFA é a utilização de uma fonte de energia alternativa capaz de abastecer as cargas emergenciais do estádio por 3 horas. Essa fonte de energia é usualmente a utilização de um grupo gerador Diesel. Para determinar se o Estádio Mané Garrincha possui essa alternativa, será pesquisada a

quantidade de grupos geradores comprados para o estádio em um relatório do Tribunal de Contas do Distrito Federal e comparar a sua potência com a potência máxima registrada na curva de carga do jogo Brasil e Japão pela Copa das Confederações 2013. E também realizaremos uma modelagem simples do tanque de combustível do grupo gerador utilizando uma tabela de consumo em litros por hora do grupo gerador selecionado, já que a FIFA exige 3 horas de alimentação.

Outra exigência são os *nobreaks* que devem atender a iluminação do campo e a transmissão. Será levantada a carga da iluminação, e serão modelados alguns *nobreaks* para atender a essa carga. Após a modelagem para a iluminação do gramado, se torna simples a adequação de *nobreaks* visando atender à imprensa.

Uma das fontes de energia alternativa que visa tornar o Estádio Mané Garrincha como um dos estádios de futebol mais sustentáveis do mundo, é a energia fotovoltaica. Será comprovada se realmente essa fonte de energia é capaz de abastecê-lo como foi publicado em vários meios de comunicação. A comprovação se dá mediante a comparação da potência das placas solares com a carga consumida pelo estádio. Para realizar a curva de potência da usina solar projetada para o Mané Garrincha, utilizaremos dados de rendimento das placas utilizado no projeto básico preliminar descrito na CEB e os dados de irradiação colhidos da Embaixada da Itália, que é um local próximo ao estádio sendo uma aproximação razoável.

Por fim, o trabalho realizará a avaliação da confiabilidade utilizando o critério N-K. Esse é um método determinístico de se avaliar a confiabilidade de um sistema elétrico, onde K é o número de alimentações em paralelo que conseguem alimentar 100% da carga do Estádio Mané Garrincha. O primeiro cenário é para os jogos das 13 horas e o segundo cenário é para os jogos das 17 horas. Desta forma, se estabelecerá se possui algum horário que possui um nível de segurança maior para realização dos jogos. Serão avaliadas as alimentações possíveis para os horários, incluindo a geração distribuída fotovoltaica.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste tópico serão abordadas as adequações feitas ao Estádio Mané Garrincha para a realização dos jogos da Copa do Mundo de 2014, no que tange aos requisitos relacionados aos suprimentos de eletricidade exigidos pela FIFA para que um estádio sedie jogos da Copa do Mundo. Também será estudada a Geração Distribuída Fotovoltaica que tinha previsão de ser um dos tipos de suprimentos energéticos. A avaliação da confiabilidade da rede elétrica é importante, pois permite o uso deste sistema de modo mais eficiente além de uma maior flexibilidade na utilização dos serviços. Desta maneira, será avaliada a confiabilidade, de modo determinístico, seguindo ao critério “N-k”, da alimentação do estádio para jogos às 13 horas e também às 17 horas.

4.1 RECOMENDAÇÕES E REQUISITOS EXIGIDOS PELA FIFA SOBRE A ALIMENTAÇÃO PARA OS ESTÁDIOS DE FUTEBOL

Para o mundial de 2014, o Brasil segue as recomendações da FIFA contida em um manual escrito em 2011 (FIFA, 2011). Com relação ao suprimento de energia, a entidade esclarece que é inadmissível o atraso ou cancelamento de um evento por falta de energia elétrica. Por este motivo, neste tópico serão apresentados quais são as alternativas que a entidade FIFA recomenda para a alimentação dos estádios e comparar com as medidas realizadas no Estádio Mané Garrincha, visando atender aos padrões e diminuir o risco de falta de energia elétrica.

A FIFA recomenda que seja realizada vistoria e avaliação dos recursos disponíveis e possíveis reparos, além de implementações de novos recursos locais para suportar as falhas de energia e também realização de serviços redundantes como a dupla alimentação independente dos estádios.

São apresentadas duas opções de disposição de suprimento de energia elétrica aos estádios, a primeira recebe o nome de principal/reserva (Fig. 4.1) no qual são projetados e instalados dois serviços de energia capazes de suprir completamente a carga do estádio, sendo utilizado um de cada vez (FIFA, 2011). A segunda opção recebe o nome de fonte de alimentação em uso na qual são

projetados dois serviços de energia sendo utilizados ao mesmo tempo alimentando partes das cargas do estádio (Fig. 4.2) (FIFA, 2011).

Grupo gerador de emergência.

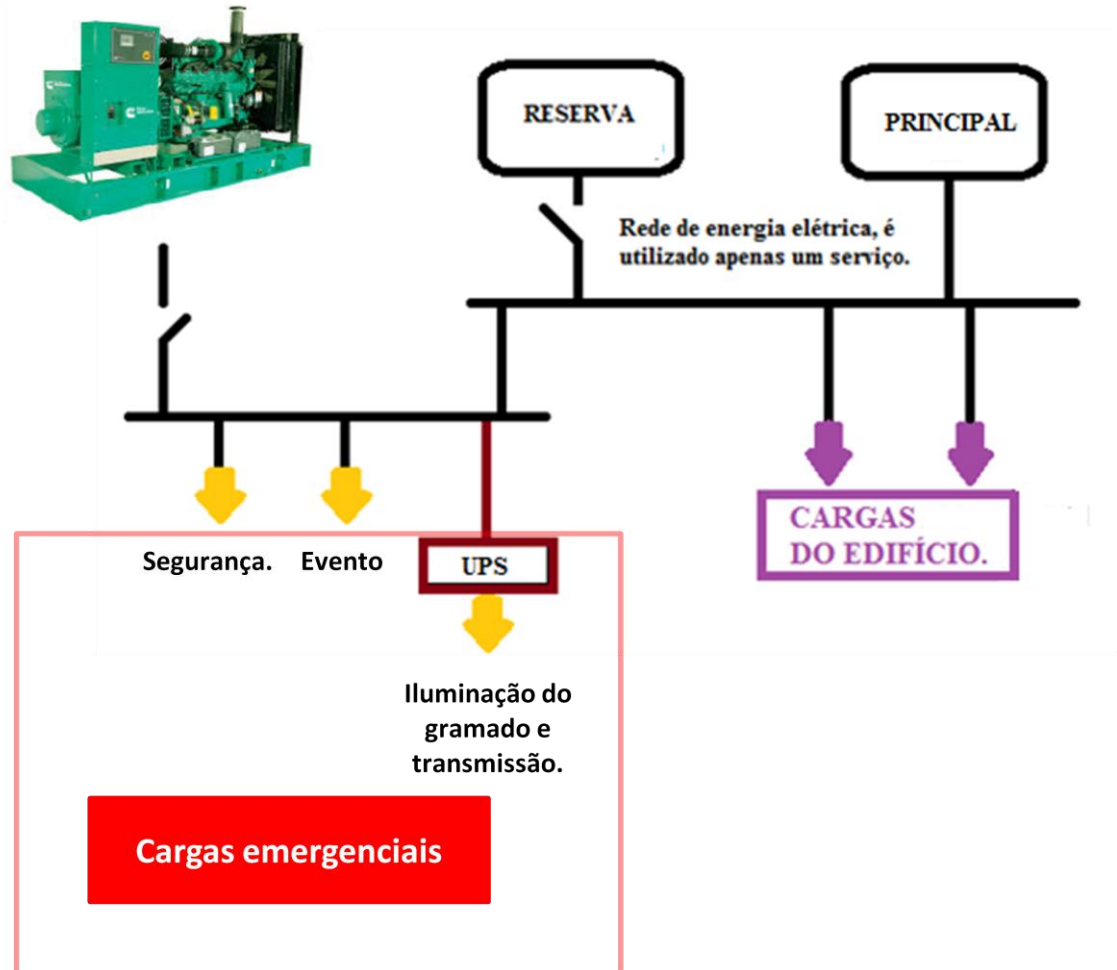


Figura 4.1- Disposição Reserva/Principal (FIFA, 2011).

Na Figura (4.1) caso ocorra falha da alimentação principal, a ligação, que pode ser manual ou automática, abre e é eliminada a alimentação do estádio por este sistema e a ligação com o sistema alternado fecha e este sistema assume a carga do estádio.

Grupo gerador de emergência.

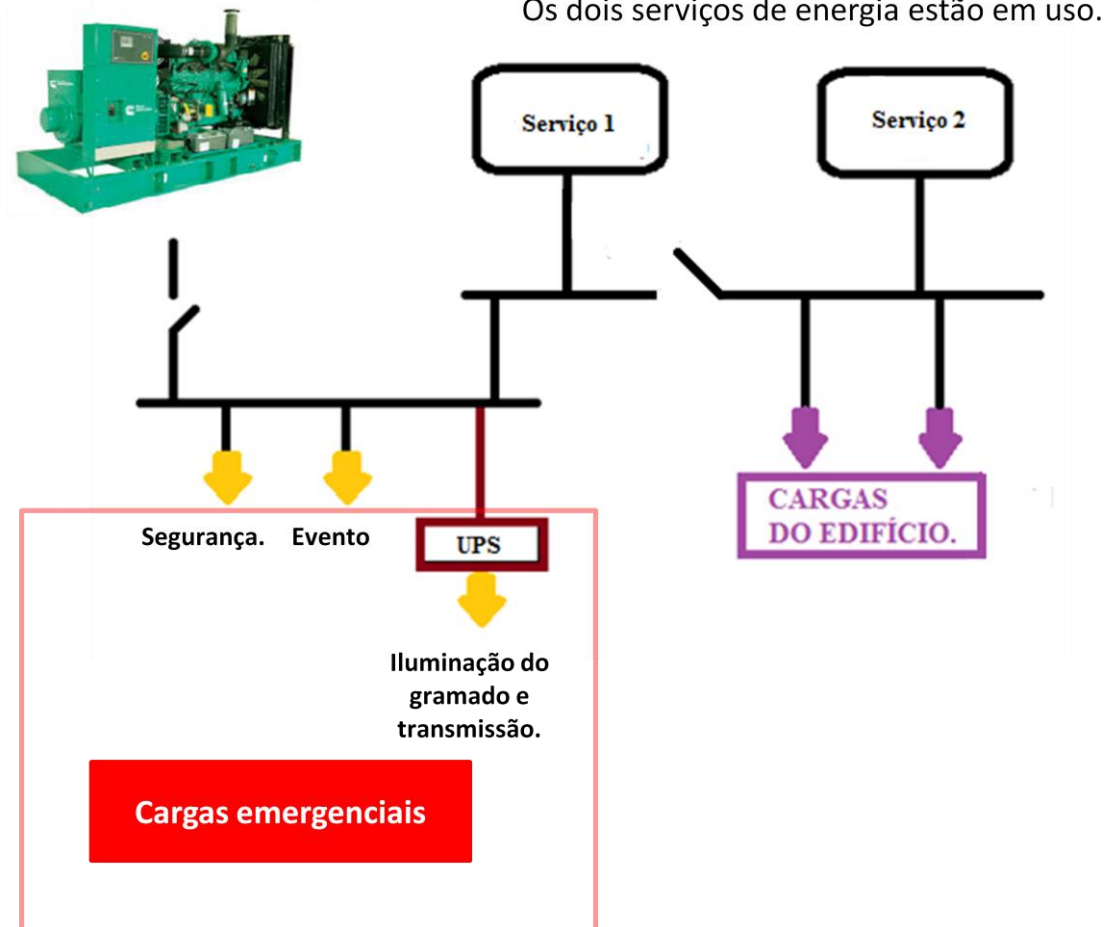


Figura 4.2- Disposição em que as duas alimentações estão em funcionamento (FIFA, 2011).

Na Figura (4.2) os dois sistemas de alimentação do estádio estão em funcionamento, cada um suprindo parte da carga. Caso uma das alimentações falhe, a ligação é fechada por um dispositivo manual ou automático, sendo assim uma das alimentações assume a carga total do estádio.

Nota-se que a diferença entre ambas as opções é com relação à quantidade de serviços de energia em utilização. Caso ocorra a queda da rede de energia elétrica, a fonte de energia reserva local deve começar a funcionar rapidamente e ter capacidade para alimentar o estádio por um período de três horas. Porém, existe um intervalo de tempo até que essa fonte consiga assumir a carga do estádio, mais especificamente o tempo em que o grupo gerador entre em funcionamento. Desta maneira deve existir um dispositivo com determinada capacidade de suportar a falha enquanto a fonte local for acionada, esse dispositivo deve alimentar a iluminação do

estádio, já que se for interrompida levará certos minutos para ser ligada novamente, e também prejudicaria a transmissão do evento. Dentre os dispositivos, a FIFA recomenda a utilização de fontes ininterruptas de energia, conhecidas por *no-breaks*. Essas alternativas de abastecimentos e suas disposições nos sistemas estão presentes nas Figuras (4.1) e (4.2).

Durante um evento o tempo de inatividade de alguns equipamentos deve ser zero para evitar interrupções, neste caso utiliza-se da fonte ininterrupta de potência. Porém, outros equipamentos toleram o tempo de partida de um grupo gerador que é menor do que 10 segundos. Desta maneira a classificação das cargas se torna importante para o dimensionamento do grupo gerador e dos *no-breaks*.

Segundo a FIFA, para a determinação de carga a ser adotada no sistema de reserva usa-se a seguinte classificação de prioridades:

Segurança (energia de reserva exclusiva de gerador disponível em 10 segundos):

- Bombas de incêndios;
- Sistema de alarme e detecção de incêndio;
- Sistemas de ventilação para fumaça;
- Elevadores/escadas rolantes selecionados para saída ou combate a incêndios;
- Iluminação e energia para serviços médicos locais.
- Iluminação de saída interna e externa do estádio;
- Salas de sistemas especiais (dados/telecomunicação);
- Telefone PBX;
- Monitoramento de segurança e acesso por cartão;
- Telas de vídeo grandes;
- Sistema de comunicação com o público.

Evento (energia reserva exclusiva de gerador-gerador disponível em menos de 90 segundos):

- Placares;
- Sala de controle de placares;
- Sistema de monitoramento de catracas;
- Estação policial.

Crítico para o evento (reserva de UPS (*Uninterruptible Power Supply*) e gerador-gerador, tempo de inatividade zero):

- Iluminação do evento;

- Centro de controle operacional de dia de jogo;
- Iluminação de controle da polícia.

Com as cargas classificadas e quantificadas é possível realizar o dimensionamento dos grupos geradores e das fontes ininterruptas de potência para que o evento seja bem sucedido.

O próximo passo é fazer uma análise detalhada de como será alimentação do Estádio Mané Garrincha e comparar com os requisitos descritos acima que são sugeridos pela FIFA. Não foi possível obter a quantificação das cargas do estádio Mané Garrincha, na qual os *no-breaks* ou o grupo gerador atenderão. Desta forma serão realizadas algumas aproximações plausíveis para modelar alguns desses equipamentos.

4.1.1 Alimentação do Estádio Mané Garrincha

A concessão para distribuição de energia elétrica da CEB DISTRIBUIÇÃO SA abrange todo o Distrito Federal, com uma área de 5.782,78 km², dividida em 30 regiões administrativas, ao longo das quais estão instaladas as linhas, subestações e redes da empresa (CEB, 2011).

O suprimento de energia ao Distrito Federal é realizado, principalmente, por Furnas Centrais Elétricas S.A., por meio das subestações Brasília Sul - 345/138 kV, Brasília Geral - 230/34,5 kV e Samambaia - 345/138 kV, com capacidades de 900 MVA, 240 MVA e 450 MVA, respectivamente, de Corumbá IV com 127 MW de potência instalada e Corumbá III com 93 MW (CEB, 2011).

Serão três linhas de alimentação para o Mané Garrincha, a primeira linha de distribuição liga o estádio à subestação 03, localizada no início da asa norte e opera a 13,8 kV. A segunda a CEB finalizou e colocou em funcionamento neste ano, esta Linha de Distribuição de Alta Tensão (LDAT) Sudoeste/Estádio Nacional opera em 138 kV possui 3097,5 metros de comprimento, e está conectada diretamente a subestação do estádio. A terceira a CEB finalizou em maio de 2014, esta LDAT Brasília Centro/Autarquia Norte/Estádio Nacional opera, também, em 138 kV e possui 4229,9 metros de comprimento (CEB, 2013a). As obras referentes a esta última alimentação finaliza o Sistema em Distribuição em Anel para o Distrito Federal que gera maior confiabilidade. Segundo a CEB, os cabos condutores utilizados em

ambas LDAT's são: Cabo XLPE 145 kV 630 mm² de Alumínio com Fibra Ótica (CEB, 2013a).

As LDAT's Sudoeste/Estádio Nacional e Brasília Centro/Autarquias Norte/Estádio Nacional atendem à expectativa de aumento da demanda de energia elétrica na região centro norte do Plano Piloto, em virtude da Copa do Mundo, Olimpíadas e Universíade 2019 (CEB, 2013a).

É interessante observar que a FIFA recomenda a utilização de dupla alimentação independente e o Estádio Mané Garrincha possui três alimentações independentes. Com o número maior de serviços de energia aumenta-se o grau de confiabilidade deste local em relação ao risco de falhas no abastecimento. Desta maneira, a Figura (4.3) é um esquemático de como será a alimentação do estádio, a fim de evidenciar as três alimentações independentes do estádio.



Figura 4.3- Serviços de Energia do Estádio Mané Garrincha.

4.1.2 Grupo Gerador

O fornecimento confiável de energia elétrica é vital para qualquer evento de grande porte. E visando atender às recomendações propostas pela FIFA, será modelado um grupo gerador de emergência com capacidade para abastecer as cargas emergenciais do estádio Mané Garrincha durante 3 horas em caso de falhas de energia elétrica por parte das concessionárias. Como resultado das questões relativas à confiabilidade, os grupos geradores estão sendo incluídos nos projetos de construção ou reforma de grandes edifícios.

Por meio dos dados, obtidos junto a CEB referentes à abertura da Copa das Confederações 2013 no qual Brasil e Japão se enfrentaram no Estádio Mané Garrincha, é possível observar que a demanda máxima de energia foi de 2,67 MW que ocorreu durante a realização do jogo. Este valor nos serve de referência para estimar a potência máxima que o Mané Garrincha pode atingir durante a realização dos jogos da copa com um elevado grau de aproximação.

No projeto de grupos geradores é comumente utilizado mais de um moto gerador dispostos em paralelo para atender cargas acima de 1000 kW. Deste modo, cada grupo gerador é responsável por atender separadamente determinadas cargas. Segundo o tribunal de contas do Distrito Federal serão comprados oito grupos geradores de 500 kVA, 380 V /220 V e com fator de potência 0,8 indutivo (Tribunal de Contas, 2010). Logo a potência instalada do grupo gerador será dada pela Equação (4.1).

$$P_{ativa} = n * P_{aparente} * \cos\phi \quad (4.1)$$

$$P_{ativa} = 8 * 500 * 0,8 = 3200 \text{ kW} = 3.2 \text{ MW}$$

Onde:

n = número de grupos geradores;

$\cos\phi$ = fator de potência.

A FIFA recomenda que se utilize o grupo gerador de emergência para atender cargas emergenciais, porém a potência instalada do grupo gerador consegue alimentar a carga total do Estádio Mané Garrincha durante a realização do evento, já que é maior do que 2,67 MW que foi a maior potência registrada.

O projeto de um grupo gerador por completo exige conhecimento de algumas especificidades, da carga e do local onde será instalado, que não foram obtidas.

Desta maneira um importante dimensionamento seria do tanque de combustível, já que a FIFA exige que o grupo gerador seja capaz de abastecer por três horas as cargas emergenciais. Primeiramente deve-se dimensionar a potência do motor Diesel e posteriormente conhecer o consumo do motor.

A potência do grupo gerador Diesel é definida em kVA, potência aparente, e possui relação direta do motor diesel que está em HP ou CV. Para determinar a potência do motor Diesel são considerados as perdas no gerador síncrono (ou rendimento do gerador síncrono), sabendo que 1 HP corresponde a 0,7457 kW ou que 1,3598 CV corresponde a 1 kW e também que 1kW corresponde a 1 kVA multiplicado por $\cos\Phi$, que é o fator de potência. Segundo a norma VDE 0530 (Instituto Alemão de Testes e Certificações), deve-se utilizar um fator de potência igual a 0,8 na construção de máquinas elétricas. Esta é uma forma de superdimensionar o sistema garantindo um projeto de maior confiabilidade. Atualmente o valor mínimo permitido pela concessionária para o fator de potência é de 0,92, se o consumidor possuir valores abaixo é cobrado uma multa cuja sigla no faturamento conta de energia é UFER, que significa faturamento de energia reativa. Desta forma a potência do motor Diesel em HP é dada pela Equação (4.2):

$$HP = \frac{kW}{0,7457 * \eta} \quad (4.2).$$

$$HP = \frac{kVA * \cos\Phi}{0,7457 * \eta}$$

Onde:

HP: potência em HP do motor Diesel;

kVA: potência exigida pelo motor Diesel em kVA;

$\cos\Phi$: fator de potência;

η : eficiência do gerador síncrono.

A eficiência do gerador síncrono deve ser informada pelo fabricante, porém para efeito de cálculo ou estimativas pode-se utilizar 0,9 ou 90%. Desta forma, para cada um dos oito grupos geradores diesel de 500 kVa, utiliza-se essa estimativa para cálculo da potência do motor Diesel em HP:

$$HP = \frac{kVA * \cos\Phi}{0,7457 * \eta} = \frac{500 * 0,8}{0,7457 * 0,90} = 596$$

Desta maneira, cada motor Diesel do grupo gerador deve possuir uma potência de 596 HP. Sabendo que 1 HP é equivalente a 1,0138 CV, o motor Diesel deve ter uma potência de 604,22 CV. A partir deste dado é possível obter qual o motor Diesel utilizado nos grupos geradores desta potência.

Para atender as cargas do Estádio Mané Garrincha pode-se utilizar cinco grupos geradores da Cummins Brasil Ltda cujo modelo é o C450D6, ele é capaz de atender uma carga de 513 kVA com fator de potência de 0,8 segundo o catálogo da fabricante. Neste grupo gerador utiliza-se o motor Diesel cujo modelo é QSX15-G9. Desta maneira, a Cummins Brasil Ltda disponibiliza uma tabela na qual estão descritos o consumo de combustível para cada modelo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1- Consumo dos Motores Diesel.(Tabela Modificada da Cummins).

Modelo do Grupo Gerador	Motor Diesel	Consumo de combustível em litros/hora, conforme a carga aplicada.			
		100%	75%	50%	25%
C250D6	QSL9-G5	75	55	36	20
C300D6	QSL9-G5	75	55	36	20
C350D6	NTA855-G3	87	66	47	27
C400D6	NTA855-G5	100	84	60	36
C450D6	QSX15-G9	106	82	49	34
C900D6	QST30-G3	203	153	109	87
C100D6	QST30-G5	234	175	122	73
C1250D6	KTA50-G3	291	222	157	89
C1500D6	KTA50-G5	330	257	180	111
C1750D6	QSK60-G6	407	316	226	141
C2000D6	QSK60-G6	462	356	252	154
C2500D6	QSK78-G6	592	457	320	181

Como pode ser visto cada motor Diesel selecionado para operar no Estádio Mané Garrincha possui um consumo, na pior das hipóteses, de 106 litros/hora se estiver operando em 100% de sua capacidade. Desta maneira, para abastecer o evento por 3 horas sem interrupções será necessário que cada tanque de combustível, dos oito grupos geradores, tenha capacidade de 318 litros, totalizando 2544 litros disponíveis para o evento.

4.1.2.1 Transferência da carga abastecida pela rede da concessionária para o grupo gerador

A transferência de carga é feita em paralelo com a rede com um intervalo de tempo pré-programado. O sistema deve monitorar, através de transformadores de corrente, a energia circulante e regular a injeção de combustível para o motor Diesel. O esquema do diagrama trifilar de ligação é mostrado na Fig.(4.4). A transferência em rampa de carga requer que a concessionária defina elementos de proteção para o local.

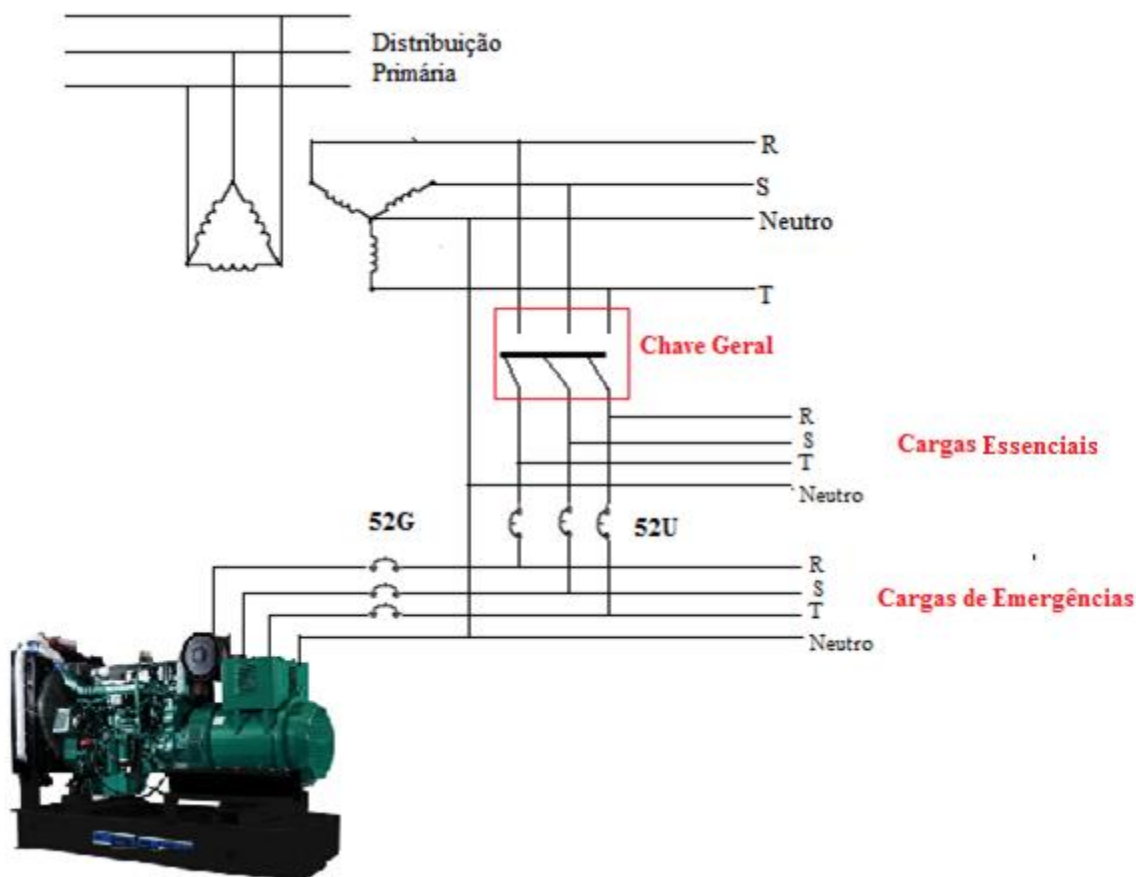


Figura 4.4 - Transferência em rampa de carga (SANTOS, 2006 Modificada).

A transferência em rampa carga é realizada mediante a sincronização do grupo gerador com a rede, comandando a manobra dos disjuntores 52U e 52G, chamados de disjuntores de paralelismo. O paralelismo é realizado por meio de um sincronizador automático, que tem por objetivo controlar a tensão e frequência do grupo gerador e verifica se as fases estão em sequência correta. Para o suprimento em horário de ponta, temos a sequência de operações mostrada pelo Gráf.(3.4). O sistema realiza a supervisão do fluxo de corrente e mantém a dosagem de combustível para que no momento em que o disjuntor 52G feche o gerador não entre em carga. Assim que é fechado o disjuntor 52G, o processo de transferência de carga se inicia até que a potência nominal do grupo gerador seja atingida, logo depois o disjuntor 52U fecha (DEL PIERO, 2003).

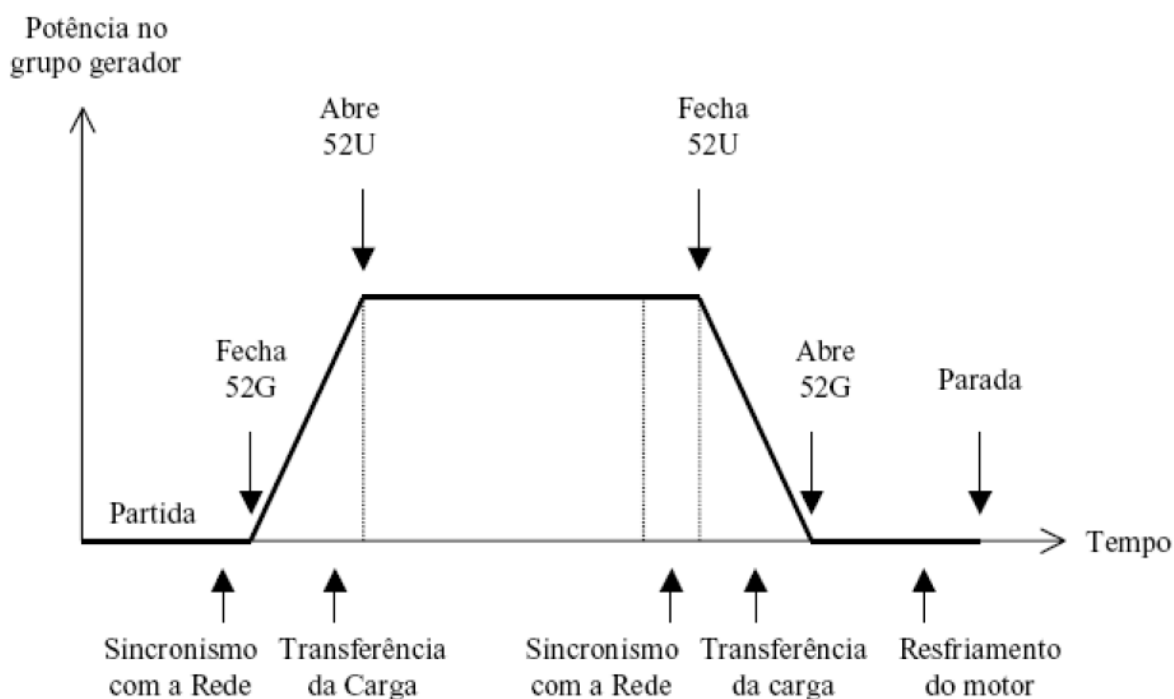


Gráfico 4.1 - Sequência de entrada do gerado operando uma carga em determinado horário (SANTOS, 2006).

Esse arranjo pode ser utilizado, também, para fornecer energia em um regime no qual o grupo gerador permanece em paralelo com a rede suprindo somente a energia que exceder à demanda prefixada pela concessionária pelo contrato de demanda.

4.1.3 Fontes Ininterrupta de Potência ou *No-Break*

Segundo as recomendações da FIFA os No-Breaks serão destinados a abastecer a iluminação do campo e toda a parte da transmissão dos jogos. Contudo, faltam informações quanto ao valor das cargas referentes à transmissão dos jogos e desta forma será apresentada um esquema elétrico de instalação do *No-Break* e também uma modelagem visando atender a carga da iluminação do campo. Para alimentar a transmissão basta aumentar a potência dos *nobreaks* e também redimensionar a área de seção dos condutores bem como redimensionamento dos disjuntores.

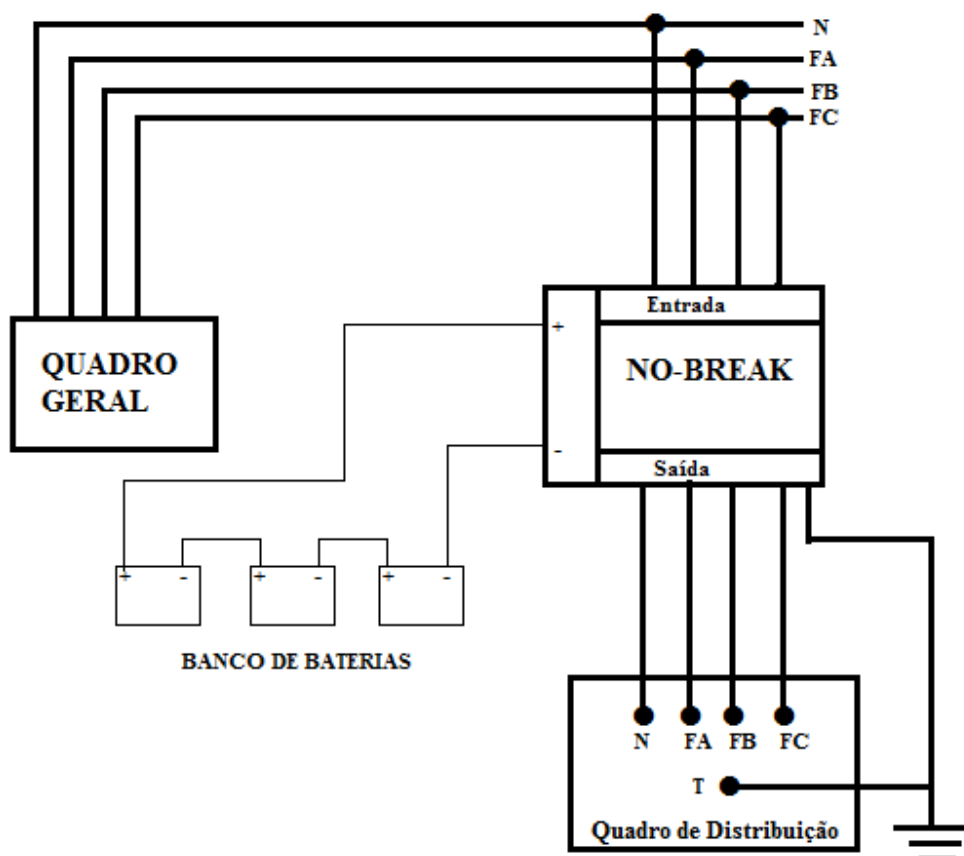


Figura 4.5- Esquema elétrico de ligação do No-Break (SCHNEIDER).

Na Fig. (4.5) é possível observar que o No-Break utiliza energia elétrica do quadro geral de energia para carregar as baterias. O No-Break também está conectado ao quadro de distribuição no qual estão as cargas que podem ser alimentadas caso falte energia elétrica, no caso particular do Estádio Mané Garrincha as transmissões dos jogos e a iluminação do campo.

Para selecionar a potência do No-Break a ser utilizado é necessário saber a carga a ser atendida por este equipamento. No caso da iluminação do campo do Estádio Mané Garrincha o *nobreak* deverá suportar a carga dos refletores, segundo o tribunal de contas do Distrito Federal e também o portal copa, serão utilizados 465 refletores de 2000 W cada (PORTAL DA COPA, 2013). Neste sentido, a potência total da iluminação do gramado é igual a 930 kW e sendo assim pode-se selecionar 59 *nobreaks* de 20 kVA para suprir a carga. Poderíamos selecionar *nobreaks* com potência nominal maior e reduzir o número de equipamentos elétricos, porém se algum dos equipamentos sofrer avaria a potência disponível para alimentação da iluminação seria menor, ou seja, se tivermos dois *nobreaks* de 500 kVA e um deles não funcionar perderia-se a metade da capacidade de suprimento.

No banco de baterias a ligação das mesmas é realizada em série, ou seja, o polo positivo de uma é ligado ao polo negativo de outra, desta forma eleva-se a tensão do banco de baterias. Segundo o manual da Schneider de instalação, um No-Break da Schneider de 20 kVA utiliza 28 baterias de 100 Ah ligadas em série com uma autonomia de 30 minutos e também utiliza condutores de 16 mm² para as fases, 25 mm² para o neutro e disjuntores de 60A. Sabe-se que para atender a carga da iluminação do gramado não será necessário um banco de baterias projetado para atender 30 minutos de autonomia, mas sim o tempo que o grupo gerador leva para realizar a transferência de carga que leva alguns segundos.

4.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA DO ESTÁDIO MANÉ GARRINCHA

O Estádio Mané Garrincha possui em seu projeto, geração de energia através de painéis fotovoltaicos que criam uma diferença de potencial elétrico por ação da luz (PORTAL, 2010). Porém, poucos meses antes da realização da Copa do Mundo não foram instalados os painéis devido aos atrasos. Segundo a CEB, a usina solar fotovoltaica do estádio está prevista para entrar em funcionamento no final do primeiro semestre deste ano.

O estádio passou por um processo de reforma, tanto na infraestrutura quanto no sistema elétrico, para atender aos requisitos da FIFA para sediar a abertura da Copa das Confederações e sete jogos da Copa do Mundo de 2014. Dentre as reformas realizadas destaca-se a construção da cobertura circular na qual serão instalados os painéis fotovoltaicos. Nesta cobertura serão instalados painéis fotovoltaicos capazes de abastecer o estádio energeticamente e o excedente será colocado à rede elétrica de CEB (CEB, 2013b).

Segundo um projeto básico preliminar da CEB, a geração de energia elétrica será por volta de 2,112 MWp, com um total de 8448 módulos solares instalados sobre a cobertura. Cada módulo terá potência nominal de 250 Wp, sendo essa unidade, *watts-pico*, referente à potência do painel medida sobre irradiação de 1000 W/m² a 25 °C. Esse valor da potência gerada fornecida por um projeto preliminar da CEB difere dos valores publicados no site do GDF, do portal da copa e de alguns jornais, que publicam valores entre 2,4 MW e 2,54 MW.

A cobertura do Estádio Mané Garrincha (Fig.(4.6)) possui formato circular dividida em uma parte que possui uma membrana auto-limpante instalada sobre estruturas metálicas, e outra parte externa construída em concreto onde serão instalados os painéis fotovoltaicos. A área total desta cobertura é de 19836 m², porém a área que será útil para a instalação desta usina fotovoltaica é de 14108,16 m².



Figura 4.6- Cobertura Estádio Mané Garrincha (CEB, 2014).

Especificar os dados técnicos dos módulos solares descritos no projeto preliminar é de grande relevância para continuidade da análise do suprimento energético do Estádio Mané Garrincha por meio da geração distribuída fotovoltaica.

Outros detalhes como descrição e tipo de instalação de inversores não é de grande relevância para que seja atingido o objetivo do trabalho.

No sistema fotovoltaico projetado serão utilizados 8448 módulos solares de 250 Wp, como falado anteriormente, com 60 células por módulo de silício poli cristalino. A fabricante do módulo solar selecionado para o projeto básico é a Hanwha e o modelo é Q-CellsQ.PRO-G3 cuja características técnicas estão disposta na Tabela (4.2).

Tabela 4.2- Características dos Módulos Solares utilizados no projeto básico.

Item	Característica
Tipo de Célula	Silício poli cristalino
Número de Células	60
Tensão de Circuito Aberto	34,69 V
Corrente de Curto-Circuito	7,22 A
Potência Nominal	250 Wp
Tensão Máxima do Sistema	1000V
Comprimento	1,67 m
Largura	1m
Área de superfície	1,67 m ²
Espessura	35 mm
Peso	19 kg
Eficiência	15 %

A potência gerada pelas placas solares é dada pela Eq. (4.3).

$$P = I \times A \times N \times \eta \quad (4.3)$$

Onde:

P = potência gerada pela GDFV [W];

I = irradiação solar [W/m²];

N = número de unidades consumidoras na barra;

η = eficiência do painel solar;

A = área destinada a implementação dos painéis solares [m²];

A Equação (4.3) representa a potência gerada pelas placas solares que depende da irradiação solar, do número de unidades consumidoras na barra, da eficiência dos painéis e da área disponível no telhado do estádio. Nota-se que eficiência e o número de unidades consumidoras na barra são constantes, conclui-se então que a potência depende da área disponível para instalação dos painéis e da irradiação solar. No Estádio Mané Garrincha o projeto básico prevê que a área na qual serão instalados os painéis é equivalente a 14108,16 m², desta forma a única variável da potência gerada seria a irradiação solar que varia ao longo do dia e das condições climáticas. Ou seja, a curva de irradiância possui comportamento semelhante a curva de potência gerada pelos módulos solares.

Para traçar a curva de carga fornecida pela geração distribuída fotovoltaica (GDFV) para o Estádio Mané Garrincha é necessário conhecer a distribuição de irradiância solar durante o dia. Esta variável pode ser obtida por meio de softwares, no qual são inseridas apenas as coordenadas de latitude e longitude. Contudo, foram obtidas as medições de irradiância solar da embaixada da Itália e por ser um local próximo ao estádio pode-se realizar essa aproximação para o Estádio Mané Garrincha com segurança. Deste modo, o Gráfico (4.2) ilustra a distribuição de irradiância solar, aproximada, durante o dia para o Estádio Mané Garrincha.

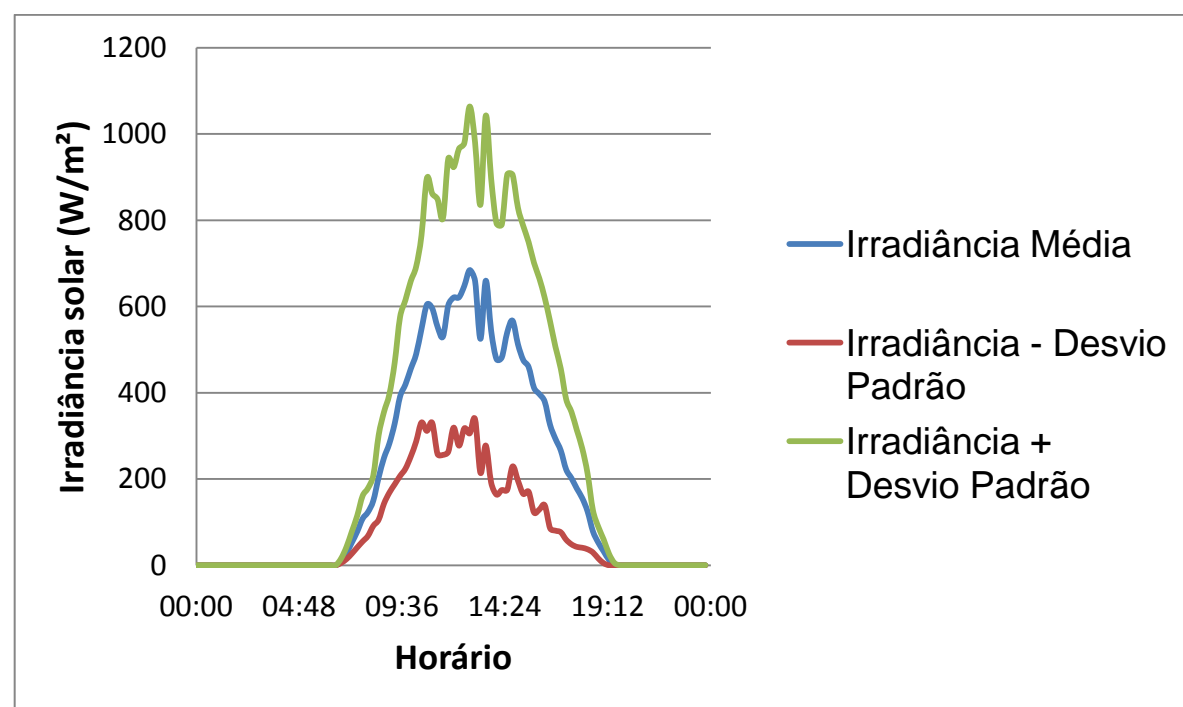


Gráfico 4.2- Irradiância solar do Estádio Mané Garrincha.

Os dados de irradiância solar foram coletados por minuto, porém para a realização do gráfico separou-se os dados por intervalos de 15 minutos e realizou-se o cálculo da média e desvio padrão para cada um destes intervalos. Como toda medição, existem erros aleatórios e instrumentais ligados aos valores medidos. O desvio padrão médio é uma forma de calcular os erros aleatórios e os erros instrumentais dependem do tipo de aparelho utilizado na medição, se for analógico é a metade na menor medida realizada e se digital é a menor medida que pode ser lida. Como não se sabe qual a precisão do equipamento utilizado para medir a irradiância, não é possível obter o erro instrumental. Desta forma, o gráfico acima nos evidencia o intervalo de valores que o valor da irradiância pode estar para cada horário.

Através do Gráfico (4.2) é possível observar que os valores de irradiância atinge o máximo às 12:45 horas e consequentemente será o horário em que a potência gerada será maior como pode ser observado no Gráfico (4.3).

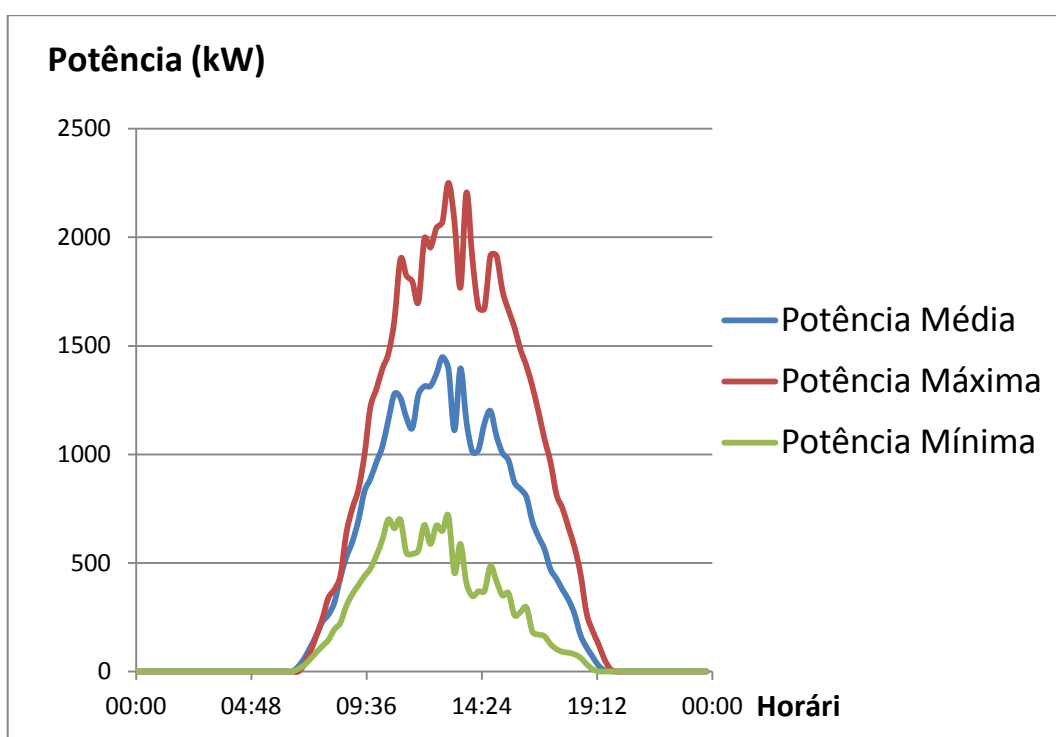


Gráfico 4.3 - Distribuição de potência de GDFV ao longo de um dia para o Estádio Mané Garrincha.

A Equação (4.3) evidencia como é realizado o cálculo da potência gerada pelos módulos solares, desta maneira realizou-se o cálculo da distribuição de

potência durante o dia (Graf. 4.3). Para o cálculo da potência utilizou-se o valor do rendimento das placas solares contido no projeto básico que é equivalente a 15%. O valor da área que os painéis ocuparão é igual a 14108,16 m² e os valores de irradiância foram aproximados com os da embaixada da Itália. Para traçar a curva de potência máxima utilizaram-se os dados da irradiação com o acréscimo do desvio padrão e para a curva de potência mínima utilizou-se os dados de irradiância subtraídos do desvio padrão. Para a curva da potência média utilizou-se os dados de irradiância média. Como dito anteriormente o maior valor de maior potência tanto para a melhor ou pior das hipóteses ocorre às 12h45min horas.

A utilização da energia fotovoltaica para o cenário de Copa do Mundo de 2014 não se mostrará muito eficiente, pois a potência máxima de 2,67 MW, obtida com base na aproximação da curva de carga com a abertura da Copa das Confederações 2013, é maior do que a potência máxima produzida pelas placas solares. Porém, para jogos do Campeonato Brasileiro e da final do Campeonato Candango a potência produzida seria suficiente para suprir estes eventos. Contudo o horário de realização destes jogos que são às 16 horas e às 19 horas não é adequado, e a energia gerada pelas placas solares não se mostra muito eficiente.

Porém se a energia solar do Estádio Mané Garrincha fosse utilizada para suprir cargas pertinentes à Brasília, fora de um contexto de jogos de futebol ou de Copa do Mundo, seria interessante tanto do ponto de vista de sustentabilidade quanto econômico.

A estimativa de produção anual média durante 25 anos de energia pela usina solar é de 2773 MWh (CEB, 2013*b*). Sabendo que a tarifa por kWh é em média 0,25 centavos, pode-se concluir que a usina solar poderia retornar 693.250,00 reais anualmente. Conforme a licitação deste empreendimento, o valor global estimado da usina solar é de 13.321.856,06 reais (CEB, 2013*b*). Isto significa que em aproximadamente 19 anos a usina solar implementada no Estádio Mané Garrincha retornará o investimento que foi realizado.

Não foram considerados os custos de manutenção, já que é recomendada a limpeza dos painéis e a inspeção dos componentes além da vida útil e garantia ser por volta de 25 anos (CEB, 2013*b*). Desta maneira, é um bom investimento já que o curso é pago por volta de 19 anos e a garantia e vida útil dos módulos é de 25 anos, ou seja, garantia de seis anos de produção de energia elétrica do sol sem custo.

4.3 CENÁRIOS

Para melhor analisar a alimentação do Estádio Mané Garrincha, serão propostos cenários de realização dos jogos da Copa do Mundo. Como já foi dito, serão realizados sete jogos no estádio Mané Garrincha dentre os quais cinco serão às 13:00 horas e dois serão às 17:00. Esses cenários serão divididos de acordo com o horário dos jogos. No primeiro cenário, será avaliado as fontes de energia elétrica para o estádio durante a realização de jogos às 13:00 horas e no segundo cenário para os jogos que ocorrerão às 17:00 horas.

4.3.1 Jogos às 13:00 horas

Para os cinco jogos que ocorrerão neste horário, o Estádio Mané Garrincha poderia contar com um tipo de alimentação por meio de placas solares que seria muito eficiente, não fosse o atraso para a implementação da usina solar na cobertura do estádio. Como esta benfeitoria tinha o intuito de atuar para os jogos da Copa do Mundo, ela será analisada como uma fonte de energia elétrica para o estádio. Como já citado anteriormente, o horário em que as placas solares produzem mais potência é por volta das 13 horas, mesmo horário do início de alguns jogos.

A curva de carga do evento que mais se aproxima do comportamento do estádio durante a realização dos jogos da Copa do Mundo de 2014 é a do jogo de abertura da Copa das Confederações 2013 entre Brasil e Japão. Se pegarmos as curvas de carga de outros eventos como final do Candangão, eventos musicais ou alguns jogos do Campeonato Brasileiro, notam-se que estão distantes do consumo de energia elétrica que houve na abertura da Copa das Confederações. Desta maneira, poderíamos realizar uma análise que mais próxima para os jogos da Copa do Mundo utilizando somente a curva de carga da abertura da Copa das Confederações. Como a análise é referente ao horário das 13 horas e o jogo Brasil e Japão ocorreu às 16 horas deslocaremos a curva para simular os jogos neste cenário.

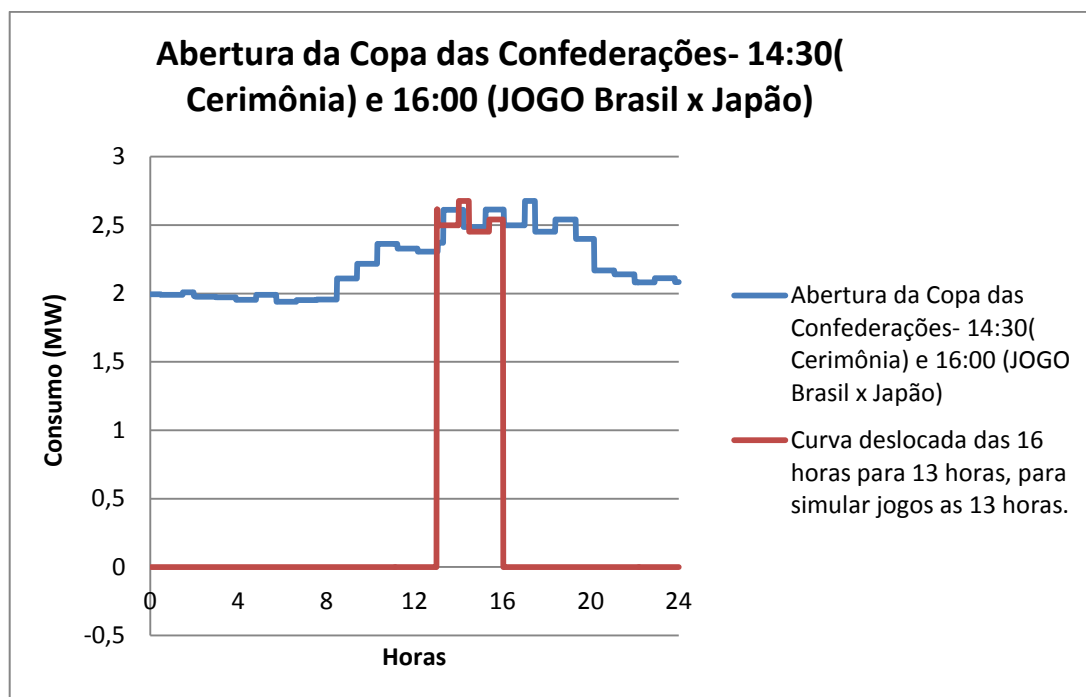


Gráfico 4.4- Consumo de energia elétrica durante a realização do jogo da abertura da Copa das Confederações 2013 entre Brasil x Japão.

Deslocaram-se os valores de consumo que ocorre durante os jogos das 16 horas para às 13 horas para realizar uma análise mais precisa. Foi definido que o evento começasse às 13 horas e terminasse às 16 horas, contabilizando uma hora a mais após o término da partida referente às entrevistas coletivas e demais atividades. Antes das 13 horas e depois das 16 horas o consumo não é igual à zero, só igualou-se a zero para a melhor definição do pico no horário desejado, já que nos interessa o comportamento apenas no horário dos jogos.

Segundo a notícia publicada em vários meios de comunicação, a geração distribuída fotovoltaica seria capaz de alimentar o estádio durante a realização dos jogos. Para comprovar a veracidade da notícia será comparada a potência gerada pelos módulos solares com a demanda de carga do estádio para este cenário de jogos às 13 horas, que é o melhor horário para utilização da energia solar.

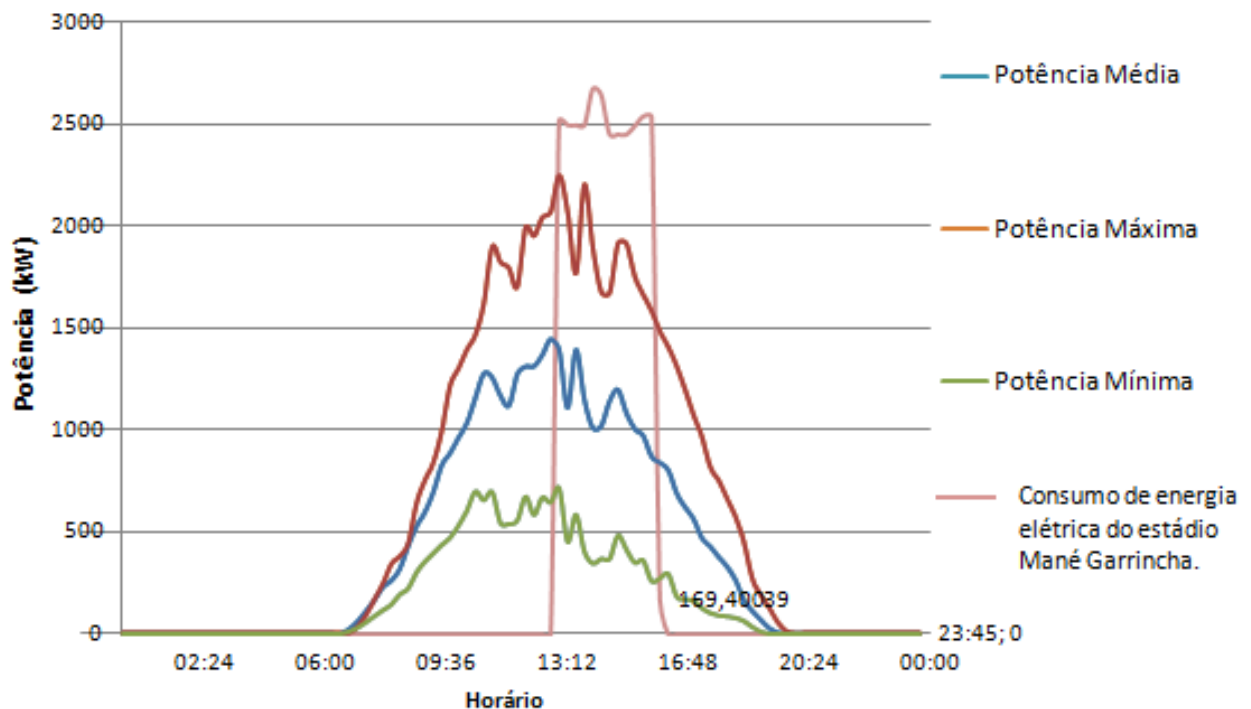


Gráfico 4.5- Comparação entre a energia produzida pelas placas fotovoltaicas e o consumo de energia elétrica do Estádio Mané Garrincha às 13 horas.

Conforme pode ser observado no Gráfico (4.5), é possível notar que o pico de consumo de energia elétrica do estádio para os jogos às 13 horas coincide com o pico da GDFV. Porém, nem na melhor das hipóteses a energia proveniente da GDFV é capaz de alimentar completamente o estádio Mané Garrincha e muito menos produzir excedentes para alimentar residências ou qualquer que seja o local durante a realização do evento.

Sabe-se que a potência da Geração Distribuída Fotovoltaica depende da irradiação solar, rendimento do módulo e da área de instalação. Dentre as três variáveis, a área é a única que variar para atingir a potência necessária para alimentar o Estádio Mané Garrincha, já que o rendimento já é intrínseco e informado pelo fabricante do módulo. E a irradiação depende de fenômenos naturais. Assim sendo, a área necessária para instalação dos módulos com o objetivo de suprir o estádio completamente pode ser calculada pela Equação (4.3):

$$P = I \times A \times N \times \eta$$

$$2700 = 1,06352 \times A \times 1 \times 0,15$$

$$A = 16.924,93 \text{ m}^2$$

Conforme o resultado obtido, a área necessária para instalação dos módulos solares para que a usina solar consiga suprir 100% da carga do estádio durante a realização dos jogos às 13 horas é de 16.924,93 (Gráfico 4.6). Utilizou-se o dado de irradiação do pico de irradiância durante o dia que é por volta das 12:45 horas. Ou seja, seriam necessários 2.816,77 m² a mais de área que não está disponível na cobertura do estádio. Uma alternativa seria utilizar parte do estacionamento.

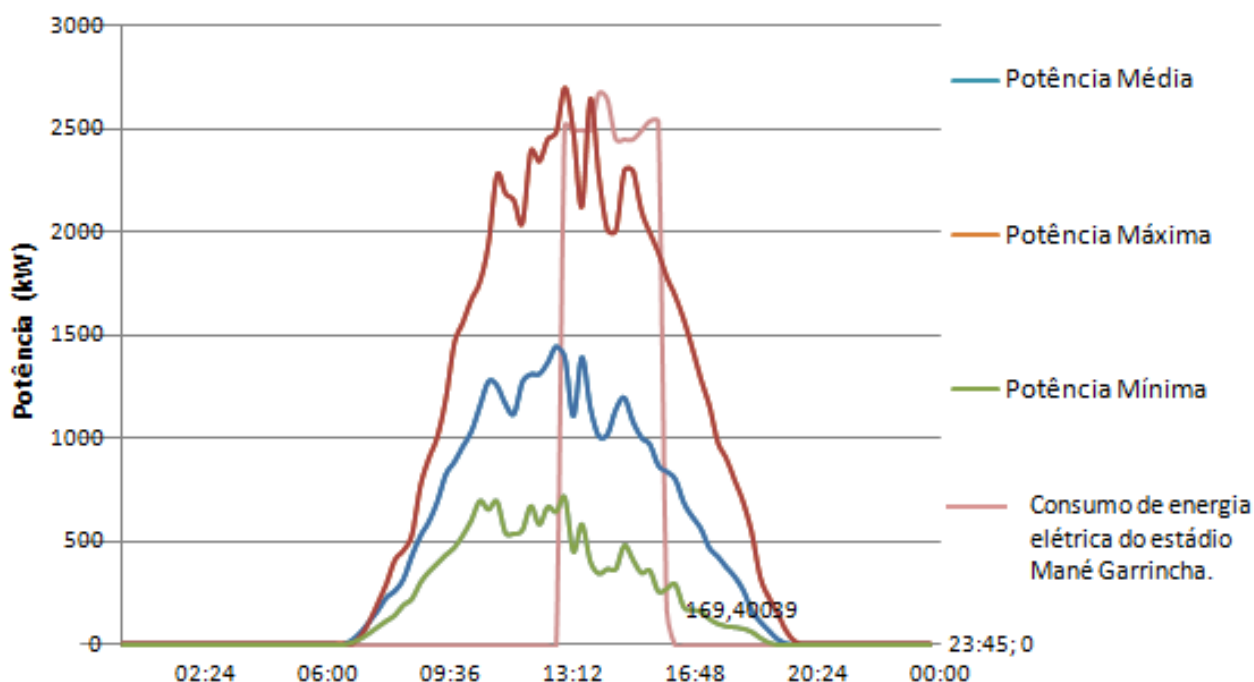


Gráfico 4.6- Comparação entre a potência produzida pela GDFV (com a área necessária para alimentar a carga total do estádio) e o consumo de energia elétrica para jogos às 13 horas.

Se trabalharmos com um elevado nível de segurança, considera-se a energia da GDFV como a menor potência produzida já que na pior das hipóteses, teríamos pelo menos essa energia disponível. E, desta maneira, a GDFV não se torna uma boa alternativa de alimentação do próprio estádio durante a realização do evento, pois ela reduziria muito pouco o pico de consumo de energia elétrica da concessionária, além de ser uma alternativa de elevado custo.

Além da GDFV, o estádio Mané Garrincha ainda conta com três serviços de energia independentes e também a alimentação através do grupo gerador Diesel. Cada um dos serviços de energia, através da SE Sudoeste, SE 03 e SE Estádio

Nacional, é capaz de alimentar 100% da carga do estádio Mané Garrincha (CEB, 2013a).

Apesar da FIFA orientar a utilização do grupo gerador apenas para as cargas emergenciais, segundo o Tribunal de Contas do DF, foram comprados oito grupos geradores de 500 kVA que reflete uma potência total de aproximadamente 3,2 MW e se comparada com a potência máxima do estádio na abertura da Copa da Confederações, que foi de 2,67 MW, notaremos que foi maior. Ou seja, o grupo gerador do Mané Garrincha consegue suprir a totalidade da carga do estádio durante a realização de jogos.

Desta maneira, têm-se quatro alimentações que conseguem atender a 100% da carga do estádio Mané Garrincha operando em paralelo, conforme a Fig. (4.7).



Figura 4.7 – Alimentações do Estádio Mané Garrincha para jogos às 13 horas.

O que está destacado na cor vermelha é o suprimento que não suporta 100% da carga do estádio Mané Garrincha que é a GDFV. A confiabilidade dos sistemas pode ser expressa em termos probabilísticos ou determinísticos. Uma das formas determinísticas de expressar a confiabilidade de um sistema elétrico com várias alimentações em paralelo é a do tipo N-K, onde K é o número de alimentações independentes. Neste caso, para jogos realizados às 13 horas temos um sistema N-4, o que significa que temos três serviços de energia independentes capazes de

alimentar 100% da carga do estádio Mané Garrincha e também a energia proveniente dos grupos geradores.

4.3.2 Jogos às 17:00 horas

Durante a realização dos dois jogos que ocorrerão às 17 horas o uso da energia solar fotovoltaica não seria muito eficiente, pois neste horário a irradiância solar seria baixa e consequentemente uma potência baixa. Para a construção do gráfico abaixo selecionou-se o pico de demanda de energia elétrica ocorrida na abertura da copa das confederações no jogo Brasil X Japão. Considerou-se zero a demanda antes do jogo e depois, para melhor caracterização do pico no determinado horário de realização do evento.

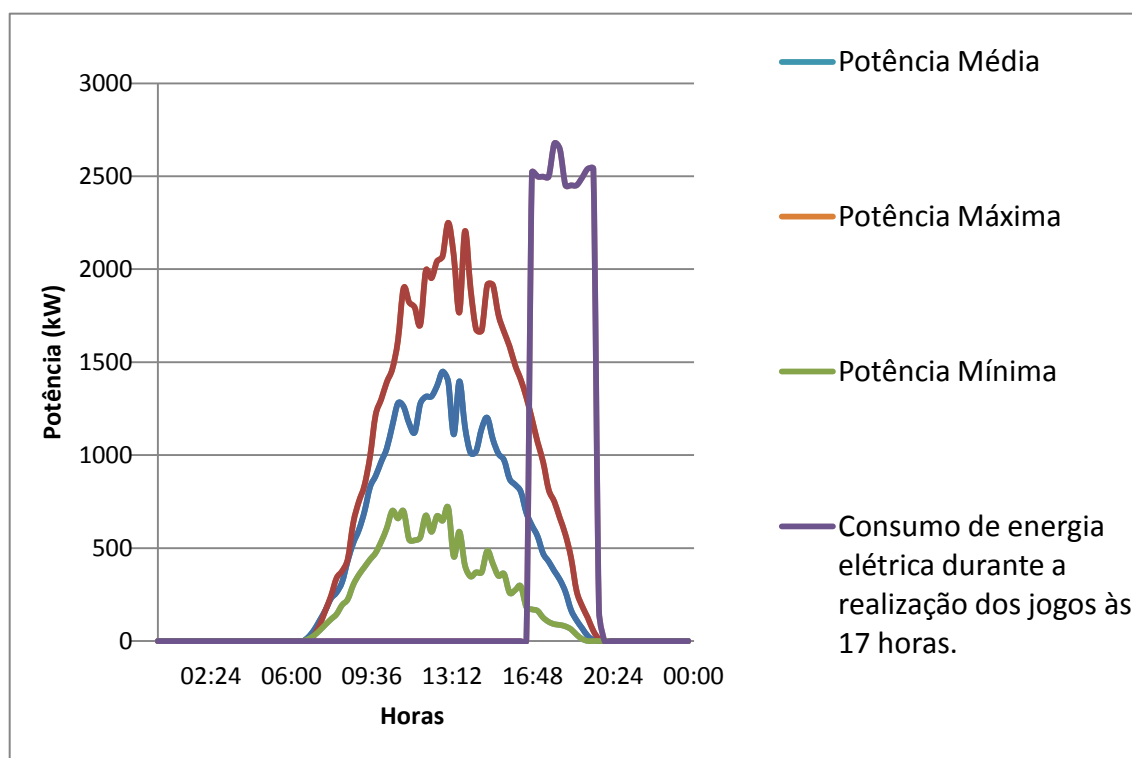


Gráfico 4.7- Potência de GFV e consumo de energia elétrica do Estádio Mané Garrincha para jogos às 17 horas.

Através da curva da potência (Gráfico 4.7) é possível observar que a partir das 18 horas a potência começa a ser praticamente nula, enquanto o pico de demanda de energia ocorre neste horário tornando a alternativa de abastecimento do estádio Mané Garrincha por meio da Geração Distribuída Fotovoltaica ineficiente.

Como dito anteriormente o grupo gerador, instalado no Estádio Mané Garrincha foi modelado para atender a 100% da carga do estádio, ao contrário do que a FIFA recomenda, que é para cargas emergenciais. Desta forma, assim como para os jogos das 13 horas, os jogos que ocorrerão às 17 horas contam com três serviços de energia independentes capazes de alimentar 100% da carga do estádio, além do grupo gerador. De acordo com a avaliação da confiabilidade pelo critério N-k, pode-se classificar neste caso a alimentação do estádio Mané Garrincha do tipo N-4 para os jogos que ocorrerão às 17 horas.

5.CONCLUSÕES

Foi possível observar que a FIFA exige dupla alimentação independente e o Estádio Mané Garrincha possui três serviços de energia redundantes o que credencia um maior nível de segurança para o estádio. Além da dupla alimentação, a FIFA exige que se tenha uma fonte de energia alternativa que tenha capacidade de abastecer as cargas emergenciais do estádio por um período de três horas. Compraram-se oito grupos geradores de 500 kVA que é capaz de abastecer a carga total do estádio. Não era esperado que o grupo gerador tivesse a potência instalada capaz de suprir 100% da carga do estádio, sendo uma alternativa que aumenta ainda mais o grau de confiança e o nível de segurança da alimentação do Estádio Mané Garrincha.

Com isso fica evidente que a respeito das exigências da FIFA o Estádio Mané Garrincha se enquadra aos padrões solicitados. Porém, outra fonte de energia que buscava tornar o Estádio Mané Garrincha como um dos estádios mais sustentáveis do mundo, não foi instalada até o presente momento e é possível que seja instalada após a realização do mundial, que é a geração de energia solar.

Muitos meios de comunicação publicaram notícias que a energia produzida pelas placas solares instaladas sobre a cobertura do estádio, seria capaz de suprir a demanda do Estádio Mané Garrincha durante a realização dos jogos e o excedente seria destinado a abastecer as residências. Imaginou-se então que dos sete jogos que seriam realizados no estádio, cinco seriam no horário de produção máxima de energia solar, 13 horas, e poderia utilizar-se desta energia para abastecer o estádio durante a realização dos jogos.

Assim, foi estimada a carga do estádio para às 13 horas e comparou-se com a potência de energia solar para este horário. Notou-se que nem na melhor das hipóteses a energia solar fotovoltaica poderia alimentar 100% da carga do estádio, teríamos que ter uma área superior para instalação de um número maior de módulos solares para alimentar 100% da carga do estádio. Isto fez com que o sistema fosse classificado como N-4, com três serviços de energia redundantes e alimentação por parte do grupo gerador. Foi um resultado que não era aguardado, já que vários meios de comunicação relevantes publicaram a notícia de que a usina solar seria capaz de suprir a demanda do estádio, sendo esperada uma classificação N-5.

Para o outro cenário analisado, das 17 horas, era almejada uma classificação do tipo N-4, com os três serviços de energia redundantes mais a utilização do grupo

gerador. Já que a energia fotovoltaica não é muito eficiente para este horário devido à baixa irradiação solar. Esta classificação da confiabilidade foi obtida.

A instalação da usina solar para alimentar jogos da Copa do Mundo de 2014 ou jogos do Campeonato Brasileiro não é uma boa solução. Porém, a utilização desta energia elétrica a disposição da cidade de Brasília se mostra bastante inteligente, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. O setor comercial poderia ser um bom destino para a energia solar, já que o consumo de energia elétrica é elevado durante o dia.

Uma sugestão para trabalhos futuros é utilizar critérios probabilísticos para determinar a confiabilidade do sistema elétrico de potência do Estádio Mané Garrincha. Porém, para realizar esse tipo de abordagem é necessário o conhecimento específico de cada equipamento (transformadores, condutores, disjuntores, contadoras, dentre outros) utilizado nas alimentações do Estádio Mané Garrincha.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGREKO de (2010). Consórcio Shanduka-Aggreko encerra com sucesso o projeto de fornecimento de energia para a Copa do Mundo FIFA 2010. Disponível em: <<http://www.aggreko.com.br/noticias-e-eventos/divulgacao-na-midia/copa-do-mundo-na-%C3%A1frica-do-sul.aspx>>. Acessado em Setembro de 2013.

ANGONOTÍCIAS de (2010). África Austral garante energia para iluminar a Copa do Mundo. Disponível em: <http://www.angonoticias.com/full_headlines.php?id=23477>. Acessado em Setembro de 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª Edição, 2008. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 2013.

BEN 2013 - Balanço Energético Nacional 2013. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em 2013.

CAMARGO C. (2006) – Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica. LTC/ELETROBRÁS/FEESC.

CEB de (2011)– Companhia Energética de Brasília. Disponível em <http://www.ceb.com.br/CebNovo/Ceb/Ceb/area.cfm?id_area=11>. Acesso em 2013.

CEB de (2013a)– Companhia Energética de Brasília. Disponível em <<http://www.ceb.com.br/index.php/todas-as-noticias/217-ceb-inaugura-subestacao-estadio-nacional-e-duas-novas-linhas-de-distribui%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em 2013.

CEB de (2013b)– Companhia Energética de Brasília. PROJETO BÁSICO-MEMORIAL DESCRITIVO DA USINA SOLAR DO ESTÁDIO MANÉ GARRINCHA.

COGEN- Associação da Indústria de Cogeração de Energia. Coelba inaugura usina solar do estádio Pituacu, 2012. Disponível em: <www.cogen.com.br/noticia.asp?id_noticia=10069>. Acesso em 2013.

COPA de (2013). Estádio Sustentável. Disponível em <<http://www.copa2014.df.gov.br/estadio-sustentavel/5199-estadio-sustentavel-leia-mais>>. Acesso em 2013.

DEL PIERO, Robson Carvalho. Automação do Sistema de Geração de Emergência – Filosofia de Operação. Companhia Siderúrgica de Tubarão, 2003.

FIFA- *Fédération internationale de Football Association. Football Stadiums: Technical recommendations and requirements*. 5ª Edição, Zurique, 2011.

LOPES, L. Z. (2011). Alimentador Radial de Distribuição para Simulações de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

MAMEDE, João. Instalações Elétricas Industriais. 6ª ed. LTC. Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, M. A. G.; SHAYANI, R. A.; SANTOS, E. C. **Localização de GD em Sistemas de Distribuição: Avaliação da Sensibilidade do Método Baseado no ITL em Função da Distribuição de Cargas.**

OLIVEIRA, M. A. V. de (2011). **Dimensionamento de Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição Considerando Curvas de Irradiância Solar e de Carga. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2011, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p.**

ONS de (2005)- **Operador Nacional do Sistema Elétrico. Plano de Ampliações e Reforços Na Rede Básica 2006-2008.**

PAIVA, R. R. C.; VILLA, L. F. L.; ZÜRN, H. H. **Algoritmo para Avaliação de Impacto da Geração Distribuída em Redes de Distribuição. Departamento de Engenharia Elétrica UFSC, Florianópolis, SC, 2009.**

PORTAL DA COPA 2014 de (2013). **Arena Brasília. Disponível em: <<http://www.copa2014.gov.br/pt-br/sedes/brasil/arena>>. Acessado em 2014.**

REVISTA SUSTENTABILIDADE (2010). **Eficiência energética pelo mundo - África do Sul: governo impõe racionamento de energia em prol da Copa do Mundo. Disponível em: <http://www.revistasustentabilidade.com.br/eficiencia-energetica/copy23_of_eficiencia-energetica-pelo-mundo>. Acessado em Setembro de 2013.**

RUTHER, R. **“Sistemas Solar Fotovoltaico Integrado à Arquitetura de Edificação Urbana e interligado à Rede Elétrica Pública” XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, 1999.**

SANTOS, J. V. A. de (2006). **Requisitos e Possibilidades De Sistemas De Emergência de Alta Potência. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Espírito Santo.**

SANTOS, Leonardo Dantas dos. **Proposta de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede no Estádio Maracanã. Dissertação (Bacharelado de Engenharia Elétrica)- Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008).**

SHAYANI, R. A. (2010). **Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes de Distribuição Radial. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.TD051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p.**

TOLMASQUIM, M. **“Novo Modelo Do Setor Elétrico Brasileiro”, 2010.**

TRIBUNAL DE CONTAS DO DISTRITO FEDERAL (2010) - **Trata-se do exame do Edital de Pré-Qualificação nº 01/2009-ASCAL/PRES, lançado pela Companhia Urbanizadora da**

Nova Capital do Brasil (NOVACAP), tendo por objeto a contratação de empresa para proceder à reforma e ampliação do Estádio Nacional de Brasília.

APÊNDICES

A-) VALORES DE IRRADIAÇÃO

Tabela A.1- Valores de Irradiância.

Horário	Irradiância(W/m²)	Horário	Irradiância(W/m²)	Horário	Irradiância(W/m²)
00:00	0	11:45	603,05	23:00	0
00:15	0	12:00	620,98	23:15	0
00:30	0	12:15	621,46	23:30	0
00:45	0	12:30	648,2	23:45	0
01:00	0	12:45	684,76	-	-
01:15	0	13:00	659,17	-	-
01:30	0	13:15	525	-	-
01:45	0	13:30	660,02	-	-
02:00	0	13:45	544,22	-	-
02:15	0	14:00	478,27	-	-
02:30	0	14:15	482,44	-	-
02:45	0	14:30	540,15	-	-
03:00	0	14:45	567,24	-	-
03:15	0	15:00	512,63	-	-
03:30	0	15:15	475,88	-	-
03:45	0	15:30	459,76	-	-
04:00	0	15:45	411,68	-	-
04:15	0	16:00	397,07	-	-
04:30	0	16:15	379,49	-	-
04:45	0	16:30	325,54	-	-
05:00	0	16:45	293,34	-	-
05:15	0	17:00	266,17	-	-
05:30	0	17:15	222,2	-	-
05:45	0	17:30	201,8	-	-
06:00	0	17:45	177,8	-	-
06:15	0	18:00	155,76	-	-
06:30	0	18:15	124,76	-	-
06:45	10,61	18:30	78,63	-	-
07:00	28,44	18:45	52,49	-	-
07:15	52,54	19:00	32,29	-	-
07:30	77,98	19:15	12,59	-	-
07:45	107,78	19:30	2,41	-	-
08:00	123,17	19:45	0	-	-
08:15	149,66	20:00	0	-	-
08:30	203,51	20:15	0	-	-
08:45	249	20:30	0	-	-
09:00	282,15	20:45	0	-	-
09:15	328,73	21:00	0	-	-
09:30	391,24	21:15	0	-	-
09:45	419,27	21:30	0	-	-
10:00	455,54	21:45	0	-	-
10:15	489,63	22:00	0	-	-
10:30	547,83	22:15	0	-	-
10:45	604,32	22:30	0	-	-
11:00	595,88	22:45	0	-	-

B-) CURVAS DE CARGAS DE EVENTOS EM 2013.

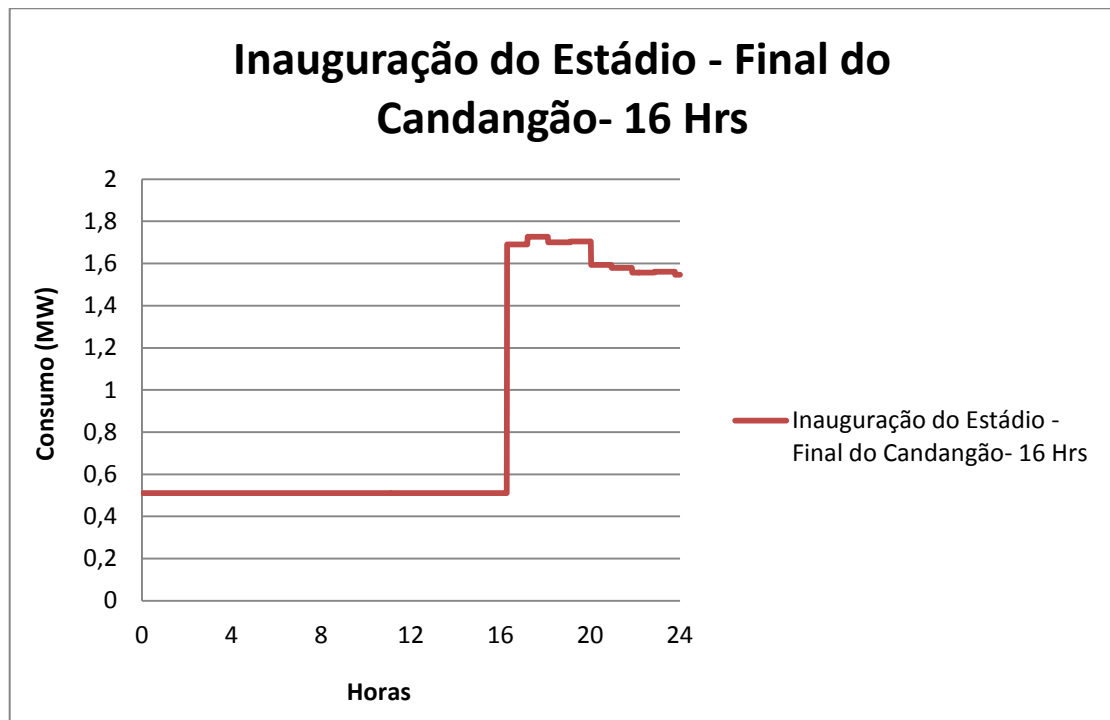


Gráfico B.1- Curva de carga da Final do Campeonato Candango 2013.

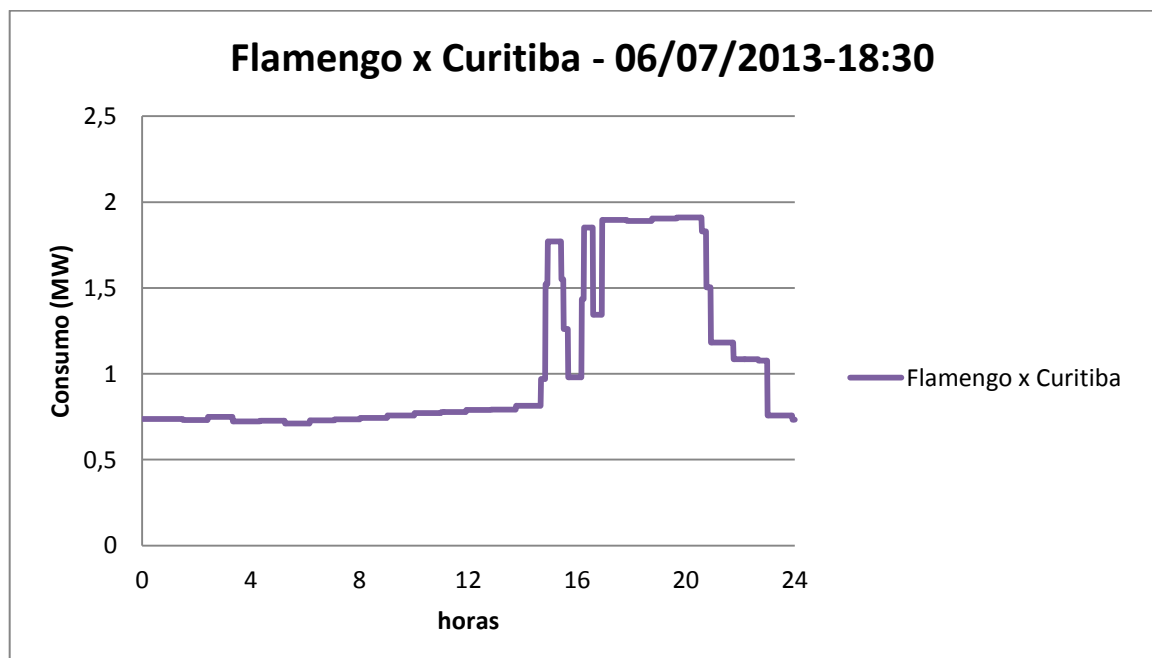


Gráfico B.2- Curva de carga de um jogo do Campeonato Brasileiro 2013.

